
SIDAM
Servidor de Información IEEE 802.21
Dinámico con Arquitectura de Malla
para redes heterogéneas



SISTEMAS INFORMÁTICOS
CURSO 2011-2012

Daniel Espino García

Roberto González de Armas

Jesús Antonio Puente Fernández

Director

Luis Javier García Villalba

Departamento de Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial
Facultad de Informática
Universidad Complutense de Madrid

Madrid, Junio de 2012

Abstract

This Project is in line with the mobile networks and deals with the performance and services to achieve the media independent handover. It is based on part 21 of the 802 IEEE standard (802.21).

The 802.21 standard specifies a set of tools to execute the handover between heterogeneous wireless networks. Between these tools it can be found the information services. The base of our work is to define an architecture to improve the access, sturdiness, effectiveness and efficiency of the information services.

The chosen architecture is a mesh, with an information server in each node of the mesh. Each server see to store, manage and update the information about his area, which is completely overlapped with a portion of the adjacent servers' areas. Therefore, it finishes with the existing hierarchical model and optimize the information traffic.

Also, to improve the efficiency of the system, we store dynamic information. This dynamic information is provided from the point of attachment (current state of the point of attachment) and the mobile nodes (signal strength in its location).

Keywords

Media independent handover, sturdiness, efficiency, mesh, density, information server, point of attachment, statistical information tuple.

Resumen

Este proyecto está enmarcado en el contexto de las redes móviles y trata sobre el funcionamiento y servicios para la transición independiente del medio. Está basado sobre la parte 21 del estándar 802 (802.21) perteneciente al IEEE.

En el estándar 802.21 tenemos especificada una serie de herramientas para la transición de conexión entre distintas tecnologías inalámbricas. Entre esas herramientas, se encuentran los servicios de información. Nuestro trabajo se basa en definir una arquitectura con la que mejorar el acceso, robustez, eficacia y eficiencia de los servicios de información.

La arquitectura en cuestión tiene una forma de malla, con un servidor de información en cada nodo de la malla. Cada servidor se encarga de almacenar, gestionar, y actualizar la información de su zona, la cual está completamente solapada con parte de las zonas de los servidores adyacentes. Por tanto, acabamos con el modelo jerárquico existente y así optimizamos el tráfico de la información.

A parte, para mejorar la eficiencia del sistema, almacenamos información dinámica. Esta información dinámica es proporcionada tanto por el punto de acceso (estado actual del punto de acceso) como por parte de los nodos móviles (calidad de la señal en un punto).

Palabras clave

Transición independiente medio, robustez, eficacia, eficiencia, malla, densidad, servidor de información, punto de conexión, tupla de información estadística.

Autorización de Difusión

Los abajo firmantes, matriculados en la asignatura de Sistemas Informáticos de la Facultad de Informática, autorizan a la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a difundir y utilizar con fines académicos, no comerciales y mencionando expresamente a sus autores, tanto la propia memoria, como el código, los contenidos audiovisuales, incluso si incluyen imágenes de los autores, la documentación y/o el prototipo desarrollado durante el curso académico 2011/2012 bajo la dirección de Dr. Luis Javier García Villalba en el departamento de Ingeniería del Software, y a la Biblioteca de la UCM a depositarlo en el archivo institucional E-Prints Complutense con el objeto de incrementar la difusión, uso e impacto del trabajo en Internet y garantizar su preservación y acceso a largo plazo.

Daniel Espino García

Roberto González de Armas

Jesús Puente Fernández

Agradecimientos

Queríamos agradecer en este proyecto la participación de Fabio Buiati, Antonio Izquierdo, Ana Sandoval y Delfín Rupérez, la cual ha sido muy importante para realización del mismo en los diferentes campos que han contribuido.

Lista de Acrónimos

3G	3th Generation
3GPP	3th Generation Partnership Project
AAA	Authentication, Authorization and Accounting
ACK	Acknowledgement
AP	Access Point
BS	Base Station
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineer
IP	Internet Protocol
IS	Information Server
MAC	Media Access Control
MICS	Media Independent Command Service
MIES	Media Independent Event Service
MIHF	MIH Function
MIIS	Media Independent Information Server
MN	Mobile Node
MPI	Mobile node Provided Information
PDU	Protocol Data Unit
PHY	Physical Layer of the OSI Model
PoA	Point of Attachment
PPI	PoA Provided Information
QoS	Quality of Service
SAP	Service Access Point
SCTP	Stream Control Transmission Protocol
SDU	Service Data Unit
SI	Sistema de información
SILL	Statistical Information Long List
SISL	Statistical Information Short List
SIT	Statistical Information Tuple
TCP	Transport Control Protocol
UDP	User Datagram protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Systems
Wi-Fi	Wireless Fidelity
Wi-Max	World Interoperability for Microwave Access
WLAN	Wireless Local Area Network

Índice General

1. Introducción	1
1.1. Tipos de handover	1
1.2. Estándar 802.21	4
1.2.1. Arquitectura General	5
1.2.2. MIH Framework	14
1.2.3. SAP	16
1.2.4. Protocolo MIH	17
1.3. Flujo de señales	19
1.4. Servicios de Información	25
1.4.1. Servidor de Información	25
1.4.2. Elementos de Información	25
1.5. Trabajos relacionados	29
2. SIDAM	31
2.1. Estructura	31
2.2. Comportamiento	33
2.3. Ventajas	34
2.4. Optimizaciones	34
2.5. Implantación	36
3. Simulación y Resultados	38
3.1. Entorno	38
3.1.1. NS-2	38
3.1.2. TCL	38
3.1.3. Matlab	39
3.2. Simulación	40
3.3. Resultados	40
4. Conclusiones	47
5. Trabajos Futuros	48
6. Glosario	49
Referencias	53
Apéndices	54
A. Artículo de Computer Networks	55

B. Artículo de URSI	56
C. Protocolo de Paso de Mensajes en la Malla	57
C.1. Registro del PoA	57
C.2. Distribución del registro del PoA	57
C.3. Actualización por parte del PoA	58
C.4. Distribución de actualización dinámica y estática del PoA	59
C.5. Actualización por parte del MN	60
C.6. Distribución de SISL	61
C.7. Distribución de SILL	62
C.8. Petición de información	63
C.9. Entrega de información	64
D. Modelos matemáticos	66
D.1. Modelo de Flujo de Información en el servidor MIIS	66
D.2. Modelo para el RTT	68
D.3. Modelo de periodos para petición de información	69
E. Gestión del Proyecto	70
E.1. Diagrama de clases	70
E.2. Comunicación entre entidades	71
E.2.1. MIH_Get_Information	72
E.2.2. MIH_Register_PoA	72
E.2.3. MIH_Update_PoA	72
E.2.4. MIH_Prop_Reg_PoA	73
E.2.5. MIH_Prop_Upd_PoA	73
E.2.6. MIH_Distribute_SISL	75
E.3. Análisis de Riesgos	75
E.3.1. Riesgos positivos	76
E.3.2. Riesgos negativos	77
E.4. Casos de Uso	77
E.4.1. Registro y Actualización PoA	78
E.4.2. Distribución SISL	78
E.4.3. Petición de Información	79
E.4.4. Handover Optimizado	79
E.5. Planificación del Proyecto	79
E.6. Seguimiento y Control	80

Índice de Tablas

1.1. Eventos de enlace	10
1.2. Comandos de enlace	12
1.3. Sumario de los puntos de referencia	16
2.1. Valores de medida para la relación entre velocidad del nodo, la sobrecarga del servidor MIIS y el tiempo entre peticiones	36
3.1. Supuestos para la simulación del escenario	40
3.2. Valor de los parámetros de la simulación	42
3.3. Resultados la simulación	43
3.4. Parámetros para la Fig. 3.3	43
3.5. Parámetros para la Fig. 3.4	43
3.6. Parámetros para la Fig. 3.5	43
E.1. Relación entre entidades y capas MIH User	70

Índice de Figuras

1.1. Handover inter-tecnología (Wi-Fi Wi-Max) inter-dominio	2
1.2. Handover intra-tecnología (Wi-Fi Wi-Fi) inter-dominio	2
1.3. Handover inter-tecnología (Wi-Fi Wi-Max) intra-dominio	3
1.4. Handover intra-tecnología (Wi-Fi Wi-Fi) intra-dominio	3
1.5. Entidad MIHF	6
1.6. Servicios entre entidades MIHF y MIH Users	7
1.7. Eventos de enlace y MIH	7
1.8. Eventos MIH remotos	8
1.9. Flujo y suscripción de Eventos MIH	9
1.10. Comandos de enlace y MIH	9
1.11. Comandos MIH remotos	11
1.12. Flujo del Servicio de Comandos	11
1.13. Flujo de Información del MIIS	13
1.14. Modelo de comunicación de la entidad MIHF	15
1.15. Relaciones entre diferentes SAPs de las entidades MIHF	18
1.16. Interacciones entre máquina de estados	19
1.17. Proceso de Handover iniciado por el MN (1 de 4)	21
1.18. Proceso de Handover iniciado por el MN (2 de 4)	22
1.19. Proceso de Handover iniciado por el MN (3 de 4)	23
1.20. Proceso de Handover iniciado por el MN (4 de 4)	24
1.21. Proceso de Handover entre IEEE 802.11 e IEEE 802.16 (1 de 3)	26
1.22. Proceso de Handover entre IEEE 802.11 e IEEE 802.16 (2 de 3)	27
1.23. Proceso de Handover entre IEEE 802.11 e IEEE 802.16 (3 de 3)	28
1.24. Lista de redes vecinas con IE	30
2.1. Área de acción de los IS	32
2.2. Estructura de la información dinámica y estática	32
2.3. Relación entre la velocidad del nodo, la sobrecarga del servidor MIIS y el tiempo entre Peticiones	35
3.1. Escenario Wi-Fi con Wi-Max	41
3.2. Resultados de latencias de handover	42
3.3. Relación de flujos de salida del sistema vs. sistema centralizado	44
3.4. Sobrecarga de información respecto al número de servidores	45
3.5. RTT respecto al área de los servidores	46
C.1. Flujo de mensajes entre las distintas entidades	65
E.1. Diagrama de clases del SIDAM	71
E.2. Flujo MIH_Get_Information_MN	73
E.3. Flujo MIH_Register_PoA	74

E.4. Flujo MIH_Update_PoA	74
E.5. Flujo MIH_Prop_Reg_PoA	75
E.6. Flujo MIH_Prop_Upd_PoA	75
E.7. Flujo MIH_Distribute_SISL	76
E.8. Planificación del proyecto	81
E.9. Progreso del proyecto	83

Capítulo 1

Introducción

La existencia de diferentes tecnologías inalámbricas como UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systems), Wi-Fi (Wireless Fidelity) y Wi-Max (World Interoperability for Microwave Access) permite a los usuarios de teléfonos móviles elegir cuál de ellas quiere utilizar para la transmisión de datos a la hora establecer una comunicación. Este proceso se conoce transición o handover. Para facilitar estas transiciones entre redes heterogéneas, el estándar 802.21 define tres tipos de servicios:

- Media Independent Event Service (MIES). Este servicio provee informes de eventos, filtrado de eventos y una clasificación de ellos atendiendo a la dinámica del enlace.
- Media Independent Command Service (MICS). Este servicio provee métodos para enviar comandos desde las capas superiores a las inferiores.
- Media Independent Information Service (MIIS). Este servicio define un mecanismo por el que la entidad MIH puede descubrir la información de redes vecinas en un área geográfica.

El Nodo Móvil (MN) accede a la información a través de lo que el 802.21 denomina servidor MIIS (Media Independent Information Service) que soporta la información de un área geográfica. El MIIS proporciona los llamados Elementos de Información (IE), que contienen toda la información de las redes y los puntos de conexión (PoA)..

1.1. Tipos de handover

El estándar 802.21 tiene como principal objetivo ayudar y facilitar la transición entre diferentes tecnologías (descritas anteriormente), es decir, transiciones verticales (vertical handover o handover inter-tecnología) mediante entidades funcionales que proporcionen eventos, comandos e información.

Los handovers se pueden clasificar respecto a dos aspectos: la tecnología y el dominio.

Si el handover se produce entre dos tecnologías distintas, se denomina inter-tecnología. Sin embargo, cuando el handover se realiza entre dos PoA de la misma tecnología, se denomina handover intra-tecnología.

Por otro lado, si los PoA se encuentran dentro del mismo dominio (operador), se denominan intra-dominio. Si se encuentran en distintos dominios, se denomina inter-dominio.

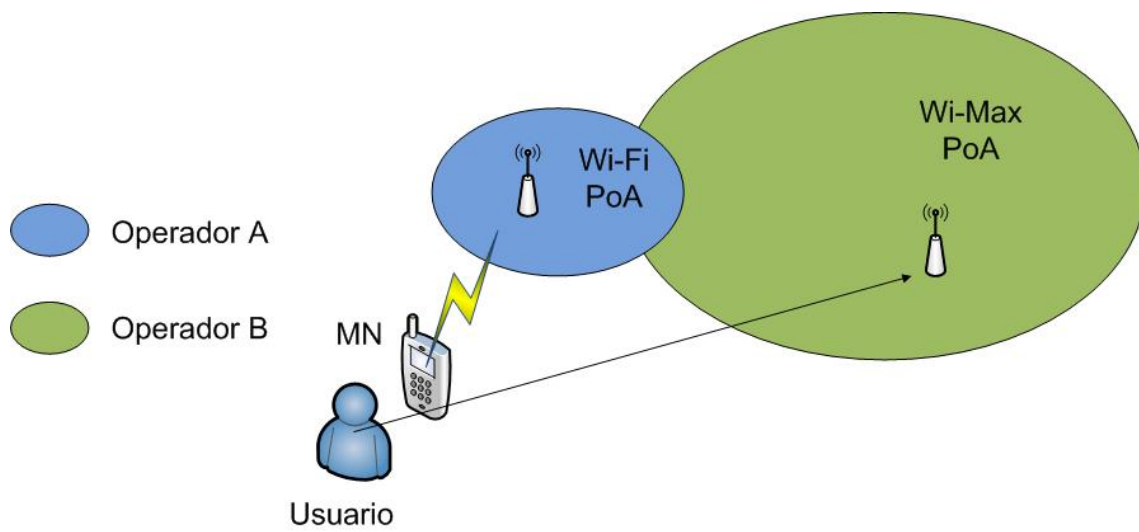


Figura 1.1: Handover inter-tecnología (Wi-Fi Wi-Max) inter-dominio

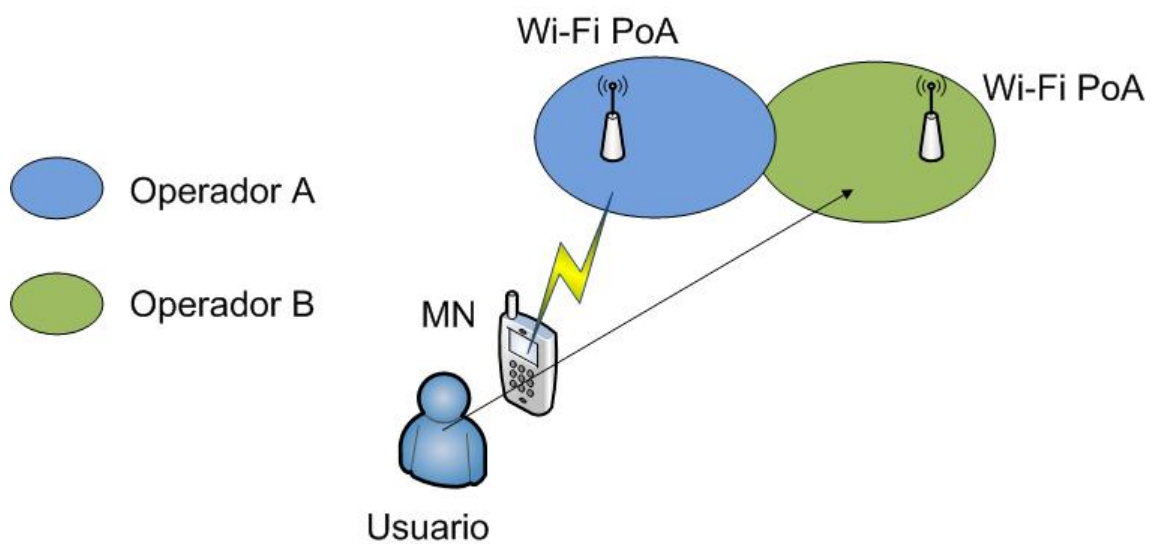


Figura 1.2: Handover intra-tecnología (Wi-Fi Wi-Fi) inter-dominio

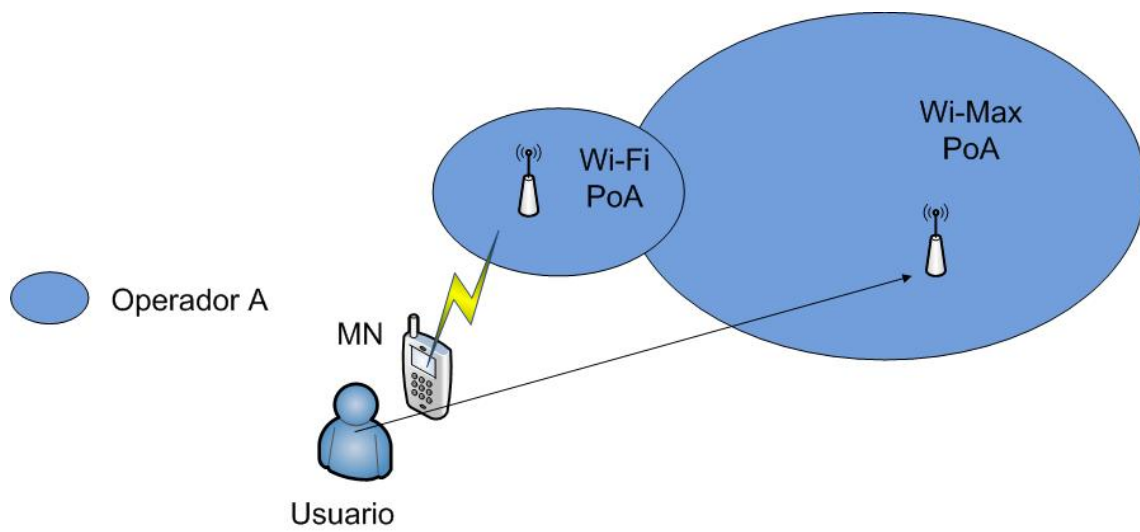


Figura 1.3: Handover inter-tecnología (Wi-Fi Wi-Max) intra-dominio

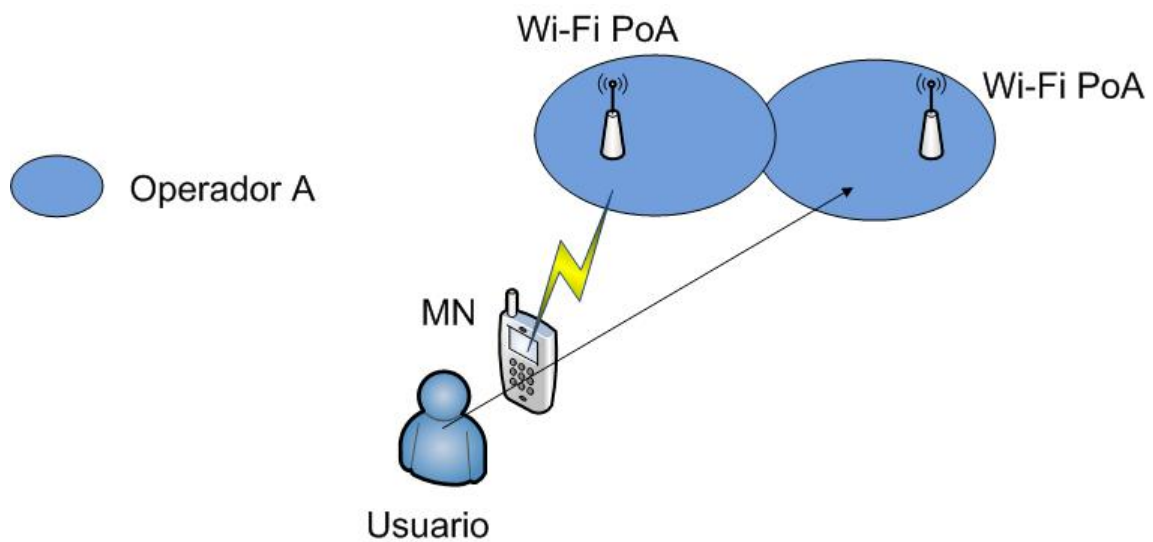


Figura 1.4: Handover intra-tecnología (Wi-Fi Wi-Fi) intra-dominio

Las Fig. 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 representan los diferentes combinaciones de escenarios.

1.2. Estándar 802.21

El estándar 802.21 define varios métodos de transición (handover). Estos métodos se clasifican generalmente como “hard handover” o “soft handover”, dependiendo si el procedimiento de transición es “break-before-make” o “make-before-break”.

En un caso de hard handover, antes de poder establecer la conexión con el nuevo PoA, perdemos la conexión con el PoA previo, por tanto es “break-before-make”. Este tipo de handovers tienen la intención de hacerse de manera instantánea para minimizar la ruptura de la llamada. Por ello, están percibidos como un evento durante la realización de la llamada. Necesitan el mínimo proceso por parte de la red para prestar un mejor servicio a los usuarios. Cuando el MN está entre dos PoA, se puede cambiar a cualquiera de ellos, por lo que los PoA hacen rebotar el enlace con el contrario progresivamente. Este tipo de hecho se llama ping-pong.

En los soft handover, la conexión se mantiene en el PoA inicial mientras se consigue conectar con el PoA objetivo para hacer la transición. En este caso, la conexión hacia el objetivo está establecida antes de que la conexión con el PoA inicial se corte. Por eso, este tipo de handover se denominan “make-before-break”. El intervalo en el que dos conexiones son utilizadas paralelamente puede ser breve o sustancial. Por esta razón, el soft handover es percibido como un estado de una llamada, en lugar de un evento breve. Los soft handovers pueden implicar conexiones a más de dos PoAs (conexiones de hasta tres, cuatro o más celdas pueden ser mantenidas por un MN al mismo tiempo). Cuando una llamada es un estado o un soft handover, la señal del mejor de los canales usados puede ser usado por la llamada en un momento dado. Por otra parte, todas las señales pueden ser combinadas para producir una copia clara de la señal. Éste último tiene más ventajas.

La decisión de hacer un handover necesita el uso cooperativo de las infraestructuras tanto del MN como de la red. Respecto al handover, el control, las políticas de transición y otros algoritmos que intervienen en la decisión de transición son manejados por los elementos del sistema de comunicación.

Un aspecto importante es la continuidad del servicio después del handover, mientras se minimizan aspectos como los datos perdidos y la duración de la pérdida de conexión.

La calidad del servicio (QoS) que se experimenta en una aplicación depende de la precisión, velocidad y disponibilidad de la transferencia de datos en el canal de comunicación.

Hay dos aspectos de QoS que se consideran en el contexto del estándar 802.21. Por un lado, existe una QoS que experimenta la aplicación durante el handover. Además, la QoS está considerada una parte de la decisión del handover, referente a la calidad del PoA destino.

Dependiendo de los requisitos de QoS de la aplicación, la conexión sin interrupciones implica minimizar la latencia del handover y las pérdidas de la información transmitida (paquetes de información perdidos). Además, esta movilidad sin interrupción implica distintas valoraciones a lo largo del tiempo de las condiciones de la red. Entre estas valora-

ciones destaca la monitorización de los paquetes perdidos en el enlace actual y la fuerza de la señal recibida de los PoA candidatos. Su fin es optimizar la decisión en caso de handover y su posterior ejecución.

Durante el proceso de selección de red, un MN o entidad de red elige una red (una de las posibles existentes) para establecer conectividad a través de la capa de red. La elección está basada en varios criterios como QoS, coste, preferencias del usuario o políticas del operador de la red.

Para solucionar las limitaciones de batería de los MN, el estándar permite al MN descubrir diferentes tipos de redes inalámbricas (por ejemplo, bluetooth, wi-fi y redes 3GPP), evitando la activación de varias interfaces y el excesivo escaneo de múltiples canales. Por tanto, este estándar quiere minimizar el consumo de energía por los dispositivos móviles en el descubrimiento de candidatos potenciales al handover.

1.2.1. Arquitectura General

El estándar 802.21 introduce una entidad lógica llamada MIHF (MIH Function), la cual facilita la decisión de hacer la transición. Ésta entidad provee servicios abstractos a las capas superiores. Las primitivas de servicio definidas por esta interfaz están basadas en el protocolo específico-tecnológico de entidades de las diferentes redes de acceso (SAPs). La entidad MIHF se comunica con las capas inferiores de la pila de protocolos de administración de movilidad a través de interfaces específicas de cada tecnología.

El estándar define servicios que facilitan las transiciones entre enlaces de acceso heterogéneo. Estos servicios son tratados por la entidad MIHF. La Fig. 1.5 muestra el lugar de la entidad MIHF con la pila de protocolos de las múltiples interfaces de un MN o una entidad de red.

La entidad MIHF provee servicios tanto síncronos como asíncronos a través de los SAPs para las capas de enlace y las entidades MIH users. En el caso de la existencia de un sistema con múltiples interfaces de red, las entidades MIH User utilizan los servicios de eventos, comandos e información, a través de la entidad MIHF, para administrar, determinar y controlar el estado de las interfaces.

Estos servicios proveídos por la entidad MIHF ayudan a las entidades MIH User en el mantenimiento de la continuidad del servicio, adaptación del servicio cuando varía la QoS, preservación de la vida de la batería, descubrimiento de redes y selección del enlace. En un sistema que contiene interfaces de redes heterogéneas del tipo de IEEE 802 (WLAN) y celulares (3GPP, 3GPP2), la MIHF ayuda a las entidades MIH users a implementar procedimientos efectivos para acoplar servicios a través de interfaces de red. Las entidades MIH Users utilizan los servicios proporcionados por la entidad MIHF haciendo peticiones a recursos con el objetivo de llevar a cabo una transición entre redes heterogéneas. La Fig. 1.6 muestra los servicios que utiliza las entidades MIH Users.

A continuación, nos disponemos a explicar los distintos tipos de servicios que se proporcionan a través de las entidades MIH. Estos servicios son los servicios de eventos (MIES), los servicios de comandos (MICS) y los servicios de información (MIIS).

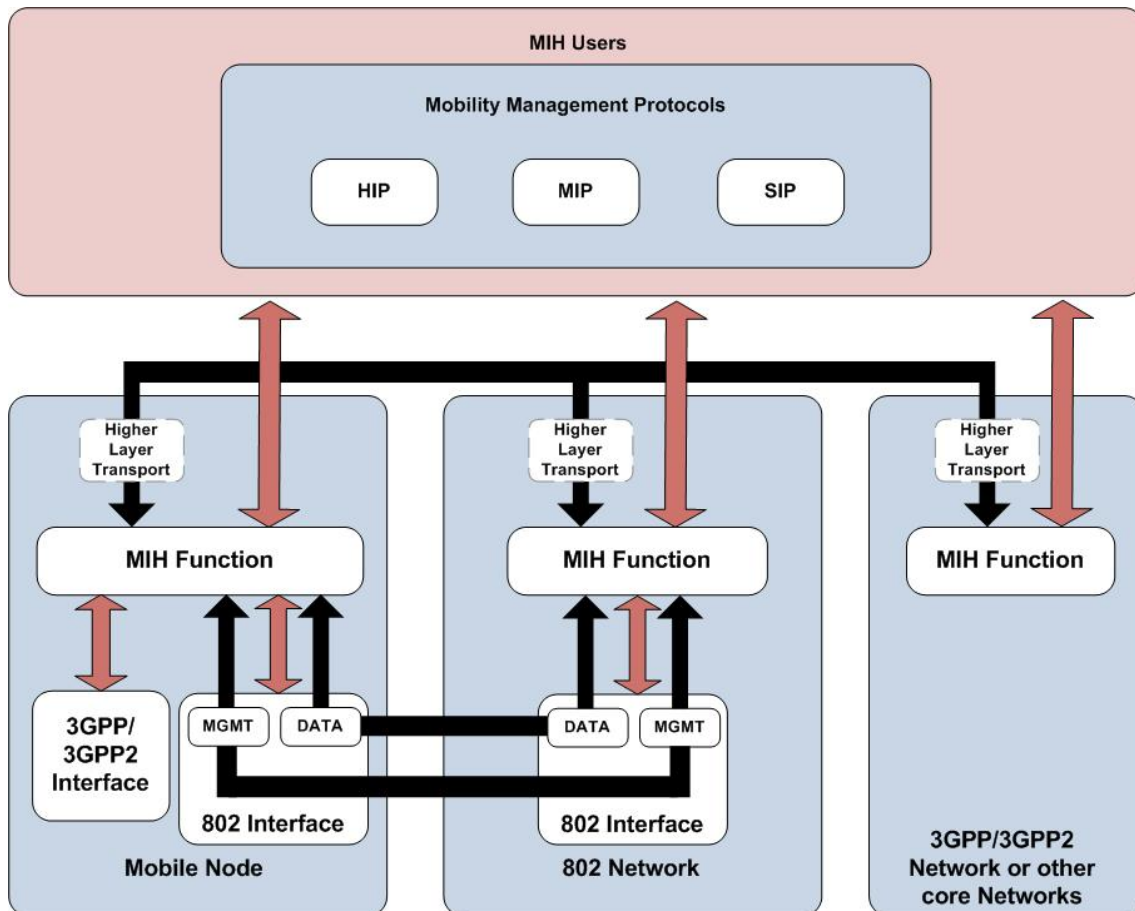


Figura 1.5: Entidad MIHF

MIES

Los eventos indican cambios en el estado y el comportamiento de la transmisión de las capas física, enlace de datos y enlace lógico. Este servicio de eventos también es usado para indicar los acciones de administración o el estado de los comandos.

Los eventos se originan desde la entidad MIHF (eventos MIH) o cualquier capa inferior (eventos de enlace) dentro de una pila de protocolos de un MN o nodo de red como se muestra en la Fig. 1.7.

El destino de un evento es la entidad MIHF o cualquier entidad superior (MIH User). El beneficiario de este evento está localizado dentro de un nodo, el cual originó este evento, o dentro de un nodo remoto como muestra la Fig 1.8. El destino del evento está establecido mediante un mecanismo de suscripción que habilita a un MN o a un nodo de red a participar en ese tipo de eventos.

En caso de eventos locales, los mensajes a veces se propagan desde las capas inferiores (capa PHY (Physical Layer of the OSI Model) o MAC (Media Access Control)) a la entidad MIHF, y desde ésta hacia cualquiera de las superiores. En caso de que no sean locales sino remotos, los mensajes se propagan desde la entidad MIHF en una pila de protocolos hacia la otra, situada en la entidad MIHF del nodo destino. Una de estas pilas

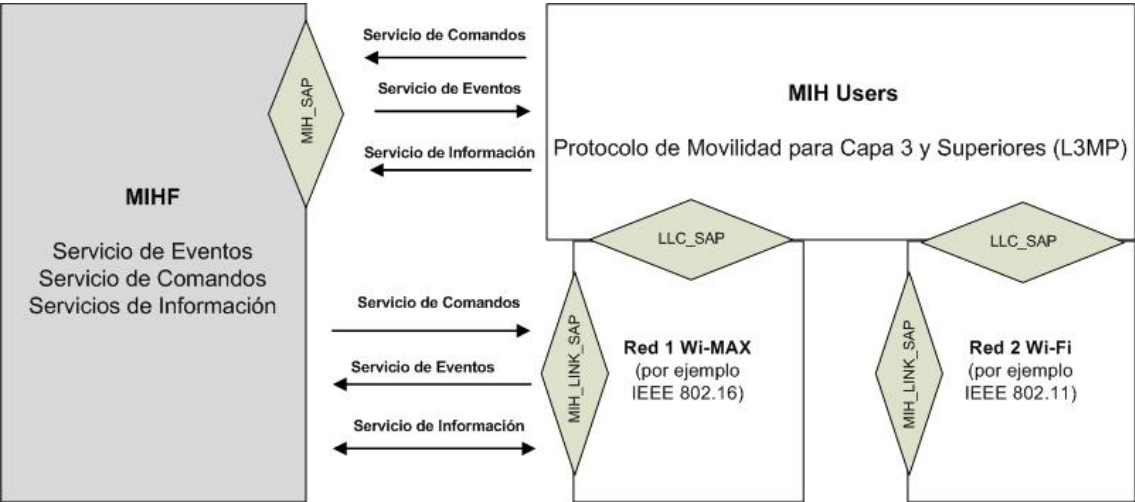


Figura 1.6: Servicios entre entidades MIHF y MIH Users

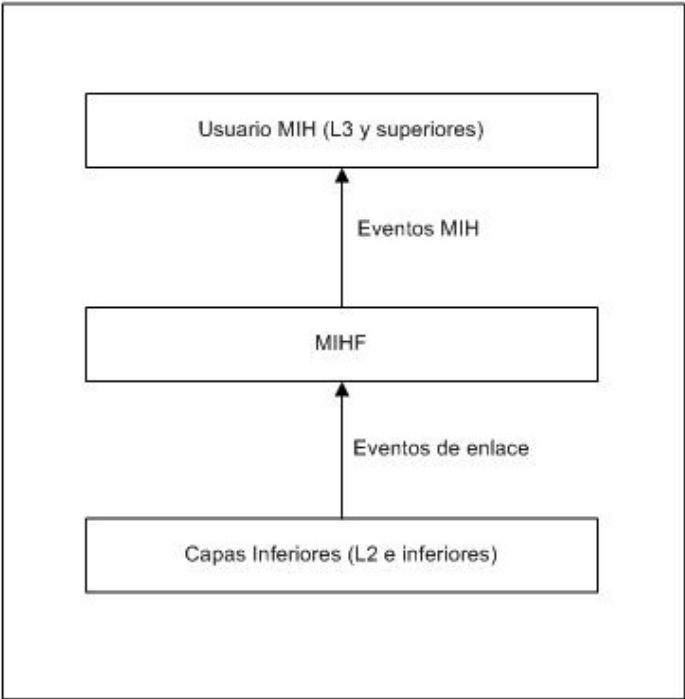


Figura 1.7: Eventos de enlace y MIH

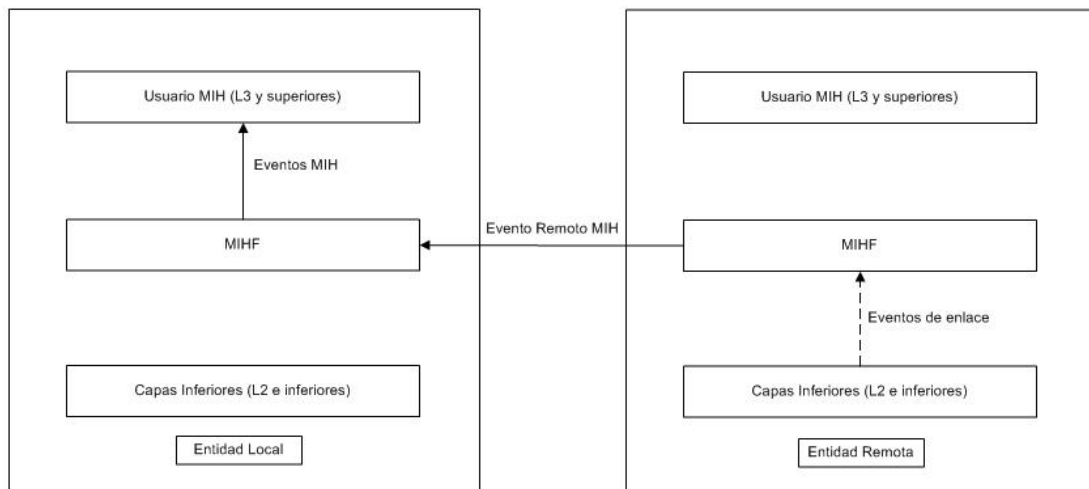


Figura 1.8: Eventos MIH remotos

de protocolos pueden ser presentadas en un MN mientras que la otra puede estar en una entidad de red fija. La Fig 1.9 muestra la suscripción y el flujo de ejecución de eventos MIH.

El servicio de eventos es usado para detectar la necesidad de realizar handover. Por ejemplo, se puede recibir una indicación de que el enlace actual cese de transportar el servicio de datos de la capa MAC (SDUs (Service Data Unit)) a algunos PoAs en un futuro cercano. Esa indicación es usada por las entidades MIH User para preparar un nuevo PoA, cesando al actual, para transportar el contexto de la conexión. Esto conlleva a una potencial reducción en lo referente al tiempo necesario para hacer el handover entre PoAs.

En la Tabla 1.1 podemos ver los diferentes eventos que contempla el estándar.

MICS

El servicio de comandos independiente del medio habilita a las capas superiores a controlar las capas física y de enlace de datos. Las capas superiores controlan la reconfiguración o selección de un enlace apropiado a través de un conjunto de comandos de handover. Cuando una entidad MIHF recibe un comando, siempre se espera que éste se ejecute.

Los comandos son invocados por las entidades MIH User (comandos MIH), así como por la propia entidad MIHF (comandos de enlace) como se muestra en la Fig. 1.10.

El destino de un comando es la entidad MIHF o cualquier capa inferior. El beneficiario de un comando está localizado dentro de una pila de protocolo que originó el comando o dentro de una pila de protocolo remota como muestra la Fig. 1.11.

En el caso de los comandos locales, los mensajes son propagados a menudo desde las entidades MIH User (por ejemplo, el motor de políticas) a la entidad MIHF y desde ella, a las capas inferiores.

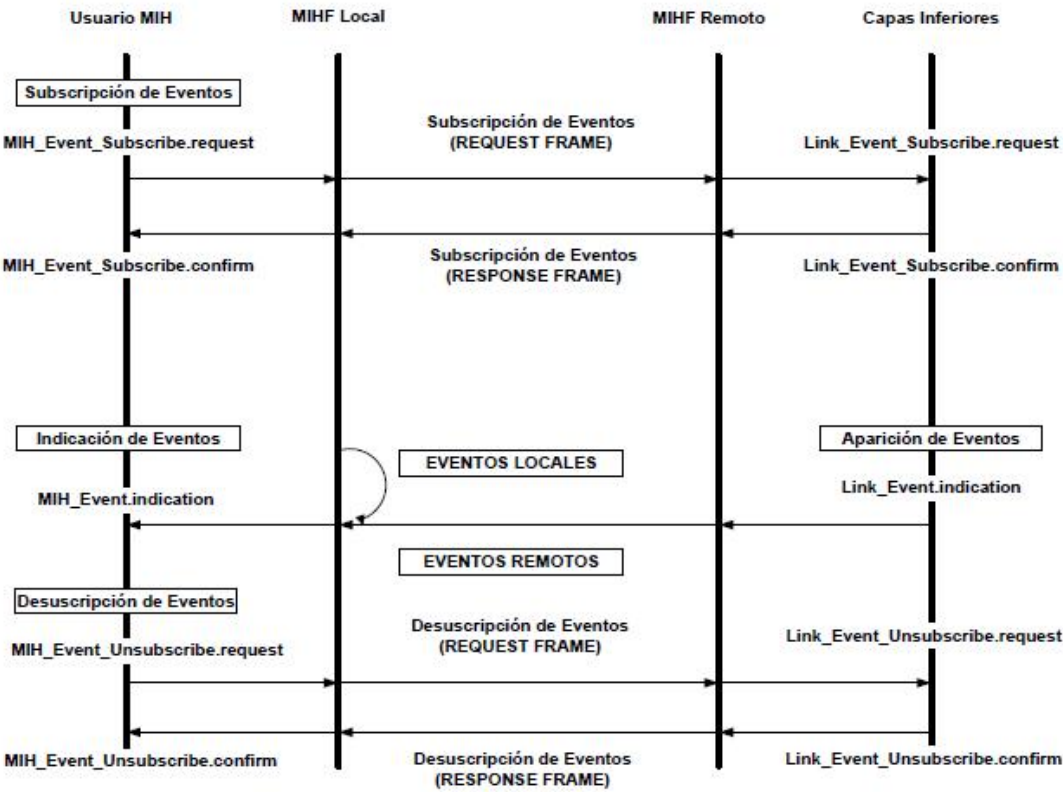


Figura 1.9: Flujo y suscripción de Eventos MIH

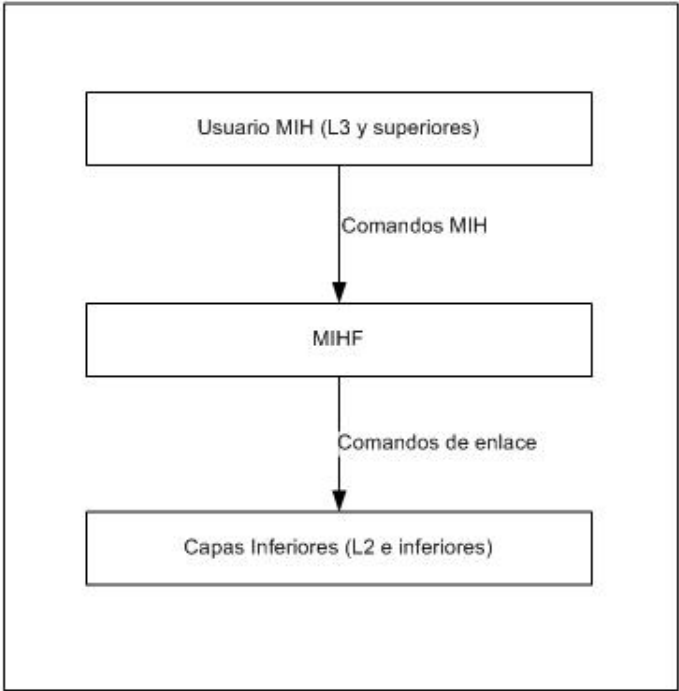


Figura 1.10: Comandos de enlace y MIH

Tabla 1.1: Eventos de enlace

Nombre de evento de enlace	Tipo de evento de enlace	Descripción
Link_Detected	Cambio de Estado	Enlace de una nueva red de acceso ha sido detectada. Este evento se origina típicamente en un MN la primera vez que detecta un PoA de una red.
Link_Up	Cambio de Estado	La conexión de la capa L2 está establecida y el enlace esta disponible para usarse.
Link_Down	Cambio de Estado	La conexión de la capa L2 está fuera de servicio y el enlace no esta disponible para usarse.
Link_Parameters_Report	Parámetros de Enlace	Los parámetros del enlace han sido sobrepasados por los umbrales previamente especificados.
Link_Going_Down	Predicción	Las condiciones de enlace están siendo degradadas y la pérdida de la conexión es inminente.
Link_Handover_Imminent	Enlace	El handover es inminente basados en los cambios de las condiciones del enlace.
Link_Handover_Complete	Enlace	El enlace del handover hacia un nuevo PoA ha sido finalizado.
Link_PDU_Transmit_Status	Transmisión del Enlace	Indicador del estado de la transmisión de un PDU (Protocol Data Unit).

En caso de comandos remotos, los mensajes se propagan desde las entidades MIH User a través de la capa MIHF actual a la capa MIHF en la pila de protocolos de la entidad MIH destino. Uno de los protocolos de la pila puede estar presente en un MN mientras que el otro puede estar fijado en una entidad de red. Esta entidad de red es el punto de conexión de cualquier nodo sin estar conectado directamente a la otra pila de protocolos. La Fig. 1.12 muestra la suscripción y el flujo de ejecución de comandos MIH.

Generalmente, los comandos transportan las decisiones de las capas superiores a las inferiores en una entidad local o una remota. Por ejemplo, el servicio de comandos puede ser usado por un motor de políticas de una entidad en una red o para la solicitud de cambio entre distintos enlaces de un MN.

El estándar facilita la iniciación de los handovers, tanto en el móvil como en la red. Éstos son iniciados por los cambios en el entorno inalámbrico que llevan a la selección de diferentes tecnologías.

Durante la elección de la red, el MN y ésta, necesitan intercambiar información sobre las

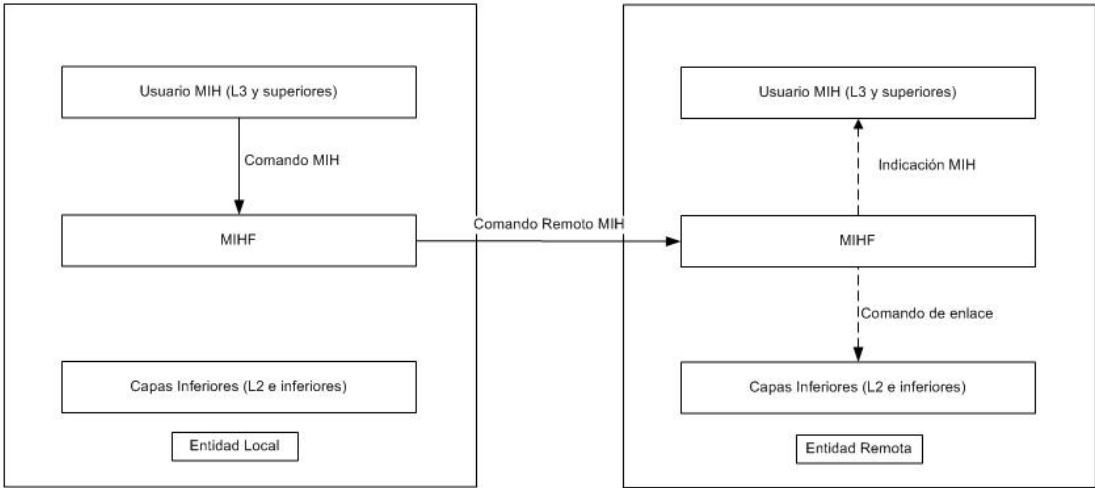


Figura 1.11: Comandos MIH remotos

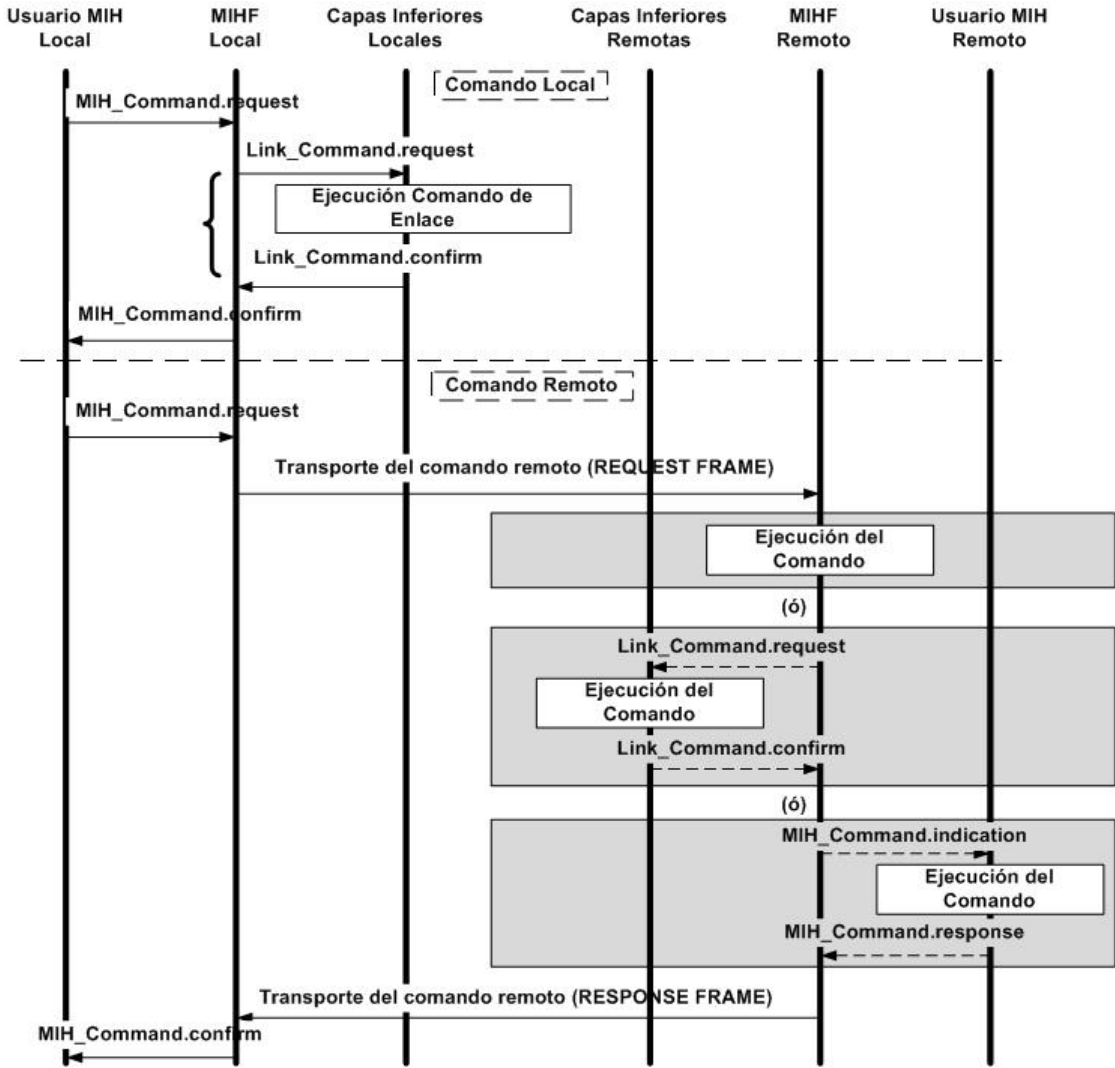


Figura 1.12: Flujo del Servicio de Comandos

posibles redes candidatas disponibles y seleccionar la mejor de ellas. La política de elección de red puede seleccionar una distinta de la actual, la cual necesitaría un handover inter-tecnología. Una vez seleccionada una red y el handover se ha iniciado, el administrador de movilidad y los aspectos del protocolo de encaminamiento se transfieren a la nueva red.

Los comandos reconocidos por el estándar están representados en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2: Comandos de enlace

Nombre de comando de enlace	Descripción
Link_Capability_Discover	Solicita y descubre la lista de los eventos y comandos de la capa de enlace que dan soporte.
Link_Event_Subscribe	Subscripción a uno o varios eventos de un enlace.
Link_Event_Unsubscribe	Se da de baja de un conjunto de eventos de la capa de enlace.
Link_Get_Parameters	Obtención de los parámetros medidos por el enlace activo, como Signal-to-Noise Ratio (SNR), Bit Error Ratio (BER), Received Signal Strength Indication (RSSI).
Link_Configure_Thresholds	Configura los umbrales de tiempo para el evento de informar sobre los parámetros del enlace.
Link_Action	Solicita una acción en una conexión de la capa de enlace.

MIIS

El servicio de información independiente del medio provee un framework y los correspondientes mecanismos por los que una entidad MIHF puede descubrir y obtener información de las redes existentes dentro de un área geográfica para facilitar los handovers.

La información sobre las redes vecinas descubiertas y obtenidas por este framework (además de sus correspondientes mecanismos), pueden ser usados conjuntamente por el usuario y las políticas del operador de la red. De esta forma se consigue optimizar la selección de la red inicial y su posterior acceso.

Originalmente, el servicio de información provee un conjunto de elementos de información (IEs), la estructura de la información y su representación, y por último, un tipo de mecanismo de pregunta/respuesta para la transferencia de la información. Esta información puede contener también políticas de handover inter-tecnología.

La información puede ser presentada en un servidor de información desde el que la entidad MIHF dentro del MN accede a él.

La información está disponible tanto en las capas inferiores como en las superiores. Está disponible en la capa L2 a través de puertos tanto seguros como no seguros. La que está disponible mediante los puertos no seguros, permite que la decisión de selección de la red se haga antes de incurrir la sobrecarga de la autenticación y establecimiento de una conexión segura en la capa L2 con la red.

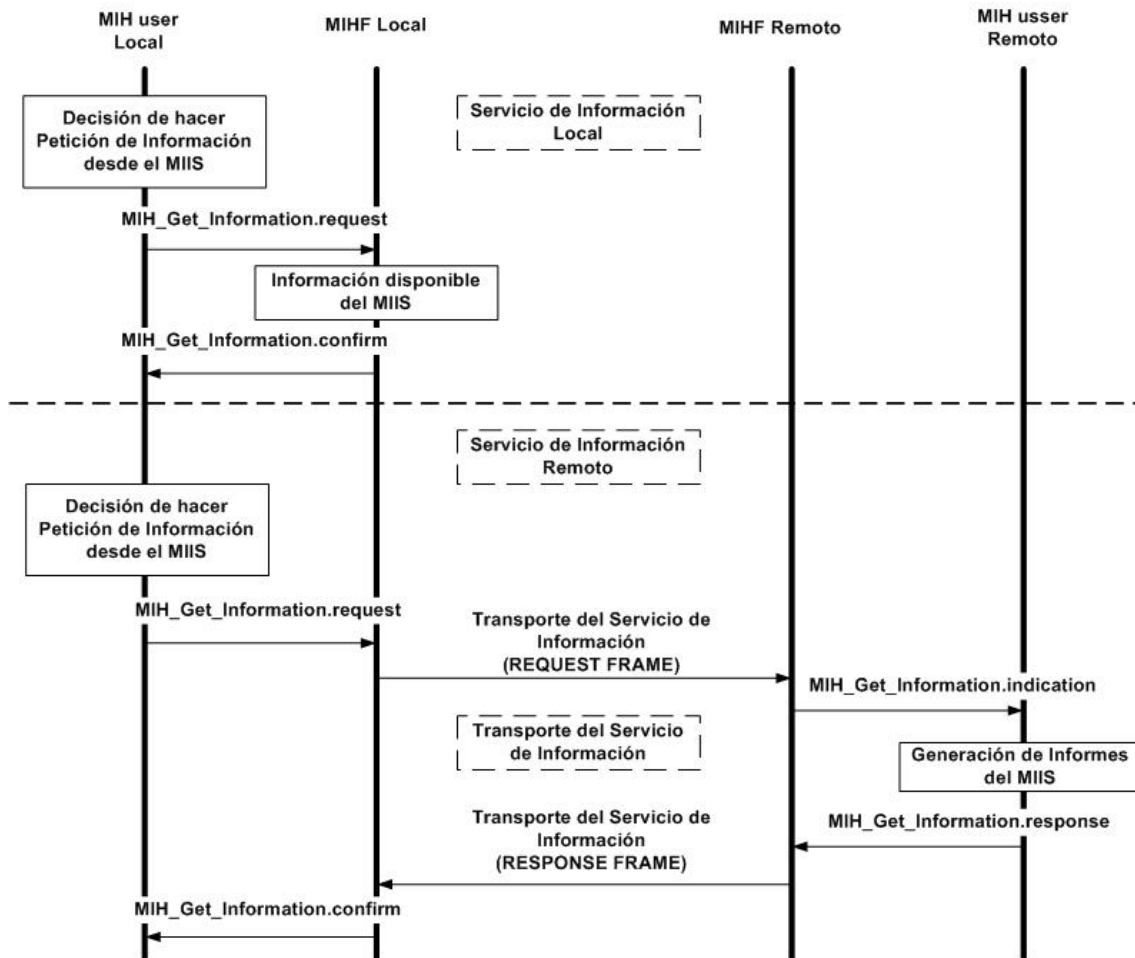


Figura 1.13: Flujo de Información del MIIS

En ciertos escenarios, la información no puede acceder a la capa L2 o por otra parte, que la información disponible en dicha capa no es suficiente para hacer una decisión inteligente de un handover.

Típicamente, el MIIS provee parámetros estáticos de la capa de enlace como la información del canal, la dirección MAC e información de seguridad de un PoA. La información sobre los servicios disponibles de las capas superiores en una red, puede ayudar de manera más efectiva en la decisión de hacer un handover antes de que el MN se conecte a una red particular.

La Fig. 1.13 describe el flujo del servicio de información. El MIIS dentro de una entidad MIHF se comunica con la entidad MIHF remota que reside dentro de la red de acceso. El mensaje **MIH_Get_Information** que envía el MN es llevado sobre la capa de transporte (L2 o L3) y es recibida en la MIHF remota. Ésta retorna la información necesaria para el MN a través de la trama de respuesta apropiada.

1.2.2. MIH Framework

Las entidades MIHF se comunican con otras debido a varios propósitos. Los MN intercambian información MIH con otros puntos de servicio (PoS). La entidad MIHF en cualquier entidad de red se convierte en un PoS cuando ésta se comunica directamente con una entidad MIHF perteneciente a un MN. Cuando una entidad MIHF de una entidad de red no tiene conexión directa con el MN, éste no actúa como un PoS para ese MN en particular. De todas formas, la misma entidad de red todavía puede actuar como un PoS de un MN diferente.

Un MN puede contener múltiples interfaces en la capa L2. De todas formas, la comunicación con la entidad MIHF no necesita tomar lugar en todas las interfaces de la capa L2 de un MN capaz de hacer un handover. Como ejemplo, en un MN hay tres interfaces en la capa L2 como son IEEE 802.11, IEEE 802.16 y IEEE 802.3. Ésta última puede ser usada solamente para administración del sistema y operaciones de mantenimiento, mientras que las otras dos pueden participar en el aprovisionamiento de los servicios a la entidad MIHF. El MN puede usar la capa L2 de transporte para intercambiar información MIH con un PoS MIH el cual reside en la misma entidad de red y por consiguiente actúa como PoA de ésta. Además, el MN puede usar la capa L3 de transporte para intercambiar información MIH con un PoS MIH el cual no reside en la misma entidad de red pero actúa como PoA de ésta. El framework soporta el uso de los mecanismos de ambas capas (L2 y L3) para la comunicación entre las entidades de red MIH.

La Fig. 1.14 muestra el modelo de comunicación de la entidad MIHF. Éste, muestra las entidades MIHF en diferentes roles y las relaciones de conexión entre ellas. Hay que destacar que las relaciones de comunicación que se muestran en la Fig. 1.14 se aplican solamente a las entidades MIHF. Cabe destacar que cada relación en el modelo de comunicación no implica un mecanismo particular de transporte. Más bien, las relaciones de comunicación solamente intentan mostrar que la información que pasa por las entidades MIHF es posible si éstas son diferentes. Por otra parte, cada relación de la comunicación que se muestra en el diagrama, abarca diferentes tipos de interfaces, mecanismos de transporte y diferentes servicios MIHF como MIIS, MICS o MIES.

El modelo de comunicación asigna diferentes roles a las entidades MIHF dependiendo de su posición en el sistema. La Fig. 1.14 define los siguientes roles:

- MIHF en el MN.
- MIH PoS en la entidad de red que incluye el proveedor de PoA del MN.
- MIH PoS en la entidad de red que incluye un PoA candidato para el MN.
- MIH PoS en una entidad de red que no incluye un PoA para el MN.
- MIH non-PoS en una entidad de red que no incluye un PoA para el MN.

Además de los roles, el modelo de comunicación identifica los siguientes puntos de referencias (PR) entre dos instancias de las entidades MIHFs.

- Punto de referencia PR1: este punto se refiere a los procedimientos de la MIHF entre la MIHF del MN y el MIH PoS de la entidad de red que se está proveyendo el PoA. El PR1 abarca las interfaces de comunicación sobre las capas L2 y L3 y superiores.

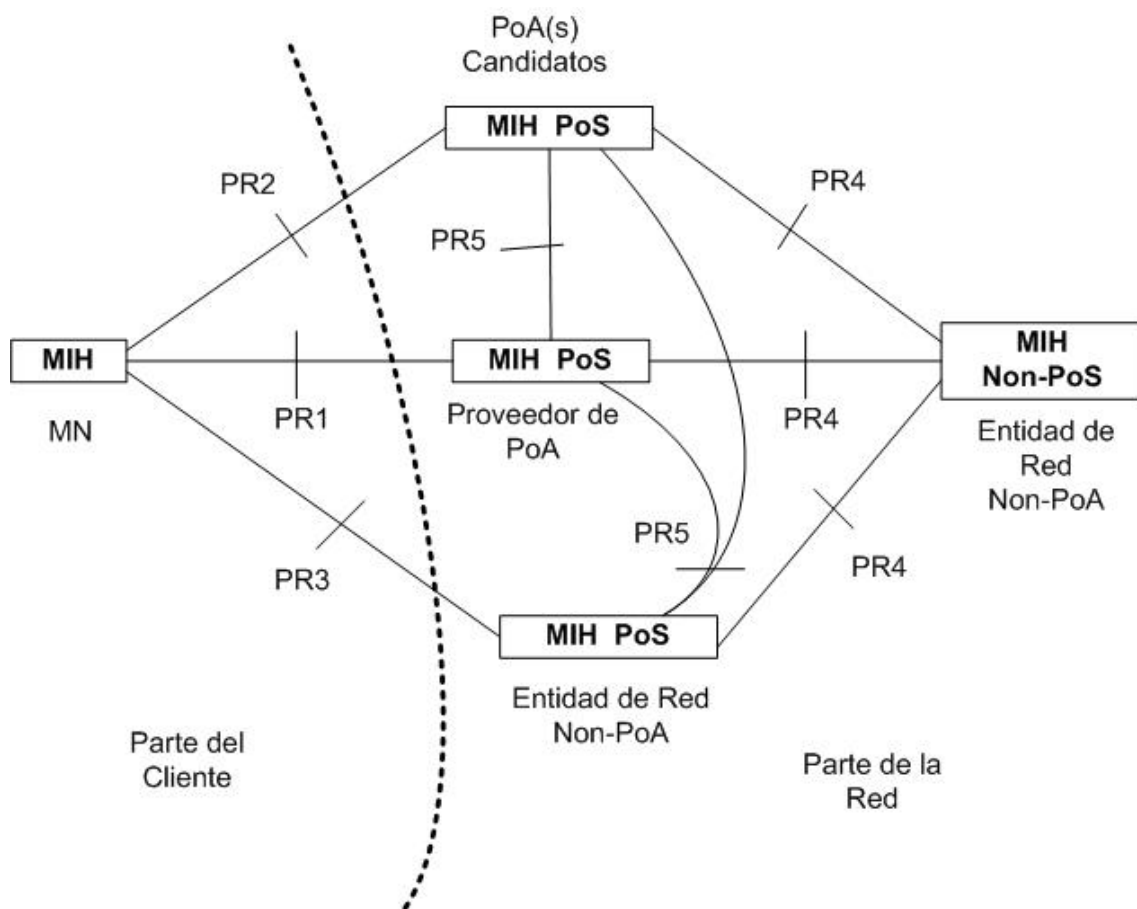


Figura 1.14: Modelo de comunicación de la entidad MIHF

Tabla 1.3: Sumario de los puntos de referencia

Punto de referencia	Descripción
PR1	Entre la MIHF de un MN y un MIH PoS en una entidad de red que corresponde el proveedor de PoA.
PR2	Entre la MIHF de un MN y un MIH PoS en una entidad de red de un PoA candidato.
PR3	Entre la MIHF de un MN y un MIH PoS en un non-PoA de una entidad de red.
PR4	Entre un MIHF PoS y una instancia MIH non-PoS en diferentes entidades de red.
PR5	Entre dos instancias MIHF PoS en diferentes entidades de red.

El contenido de la MIHF que pasa sobre el PR1 esta relacionado al MIIS, MIES o MICS.

- Punto de referencia PR2: este punto se refiere a los procedimientos de la MIHF entre la MIHF del MN y el MIH PoS de la entidad de red de un PoA candidato. El PR2 abarca las interfaces de comunicación sobre las capas L2 y L3 y superiores. El contenido de la MIHF que pasa sobre el PR2 esta relacionado al MIIS, MIES o MICS.
- Punto de referencia PR3: este punto se refiere a los procedimientos de la MIHF entre la MIHF del MN y el MIH PoS en un non-PoA de una entidad de red. El PR3 abarca las interfaces de comunicación sobre la capa L3 y superiores y posibilita a la capa L2 de protocolos de transporte como Ethernet bridging, o multi-protocol label switching (MPLS). El contenido de la MIHF que pasa sobre el PR3 esta relacionado al MIIS, MIES o MICS.
- Punto de referencia PR4: este punto se refiere a los procedimientos de un MIH PoS en una entidad de red y una instancia MIH non-PoS en otra entidad de red. PR4 abarca las interfaces de comunicación sobre la capa L3 y superiores. El contenido de la MIHF que pasa sobre el PR4 esta relacionado al MIIS, MIES o MICS.
- Punto de referencia PR5: este punto se refiere a los procedimientos de la MIHF entre dos instancias MIH PoS de entidades de red distintas. PR3 abarca las interfaces de comunicación sobre la capa L3 y superiores. El contenido de la MIHF que pasa sobre el PR5 esta relacionado al MIIS, MIES o MICS.

Estos puntos de referencia se recogen a modo de resumen en la tabla 1.3.

1.2.3. SAP

Las interfaces MIHF con otras capas usan los puntos de acceso al servicio (SAPs). Cada SAP (Service Access Point) consiste en un conjunto de primitivas del servicio que especifican las interacciones entre el servicio del usuario y el proveedor de éste.

La especificación de la entidad MIHF incluye la definición de los SAPs que son independientes del medio y además las recomendaciones para definir o extender otros SAPs que son dependientes del medio.

Los SAPs independientes del medio permiten a la entidad MIHF proveer servicios a las capas superiores de la pila de protocolos de movilidad, al plano administrativo de la red y al plano portador de los datos. Los MIH_SAP y las primitivas asociadas proveen la interfaz desde la entidad MIHF a las capas superiores de la pila de protocolos de movilidad. Las capas superiores necesitan suscribirse con la entidad MIHF como usuarios para recibir eventos generados por ésta. Además, necesitan suscribirse para recibir los eventos de la capa de enlace que son originados en las capas por debajo de la entidad MIHF. Las entidades MIH User envían directamente comandos a la entidad local MIHF usando las primitivas del servicio de MIH_SAP. La comunicación entre dos entidades MIHFs depende de los mensajes del protocolo MIH.

Los SAPs dependientes del medio permiten a la entidad MIHF usar servicios desde las capas inferiores de la pila de protocolos de movilidad y de sus planos de dirección. Todas las entradas (incluidos los eventos) de las capas inferiores de la pila de protocolos de administración de movilidad dentro de la entidad MIHF, son provistas a través de SAPs específicos del medio como MAC SAPs, PHY SAPs, y los SAPs del control del enlace lógico (LLC (Logic Link Control) SAPs). Los comandos de enlace generados por la entidad MIHF para controlar las capas PHY y MAC durante el handover son parte de los SAPs específicos del medio (MAC/PHY SAPs).

La Fig. 1.15 muestra un resumen de los SAPs de la entidad MIHF para diferentes redes. Estos SAPs se describen como sigue:

- El MIH_SAP especifica una interfaz independiente del medio entre la entidad MIHF y las capas superiores de protocolos de movilidad.
- El MIH_LINK_SAP especifica una interfaz abstracta dependiente del medio entre la entidad MIHF y las capas inferiores de la pila de protocolos específica del medio de tecnologías como IEEE 802.3, IEEE 802.11, IEEE 802.16, 3GPP o 3GPP2. Para cada capa de enlace de las diferentes tecnologías descritas, los SAPs específicos del medio proveen la funcionalidad de MIH_LINK_SAP. Las alteraciones son sugeridas a sus respectivos SAPs específicos del medio para proveer toda la funcionalidad descrita por MIH_LINK_SAP.
- El MIH_NET_SAP especifica una interfaz abstracta dependiente del medio de la entidad MIHF que provee servicios de transporte sobre el plano de datos en el nodo local. Además soporta el intercambio de información MIH y los mensajes con las entidades remotas MIHFs.

1.2.4. Protocolo MIH

El protocolo MIH define el formato de los mensajes que son intercambiados entre las entidades MIHF remotas y los mecanismos independientes del medio que soportan la entrega de éstos. Una transacción MIH esta compuesta por una secuencia de mensajes con el mismo identificador de transacción en el emisor y en el receptor.

Los mensajes de datos se encapsulan en las unidades de datos del protocolo MIH (PDUs). Éstos son enviados sobre el plano de datos por el uso de un mecanismo de transporte en las capas 2 y 3. La capa 3 se soporta sobre el protocolo de internet (IP) usando, TCP, UDP y SCTP.

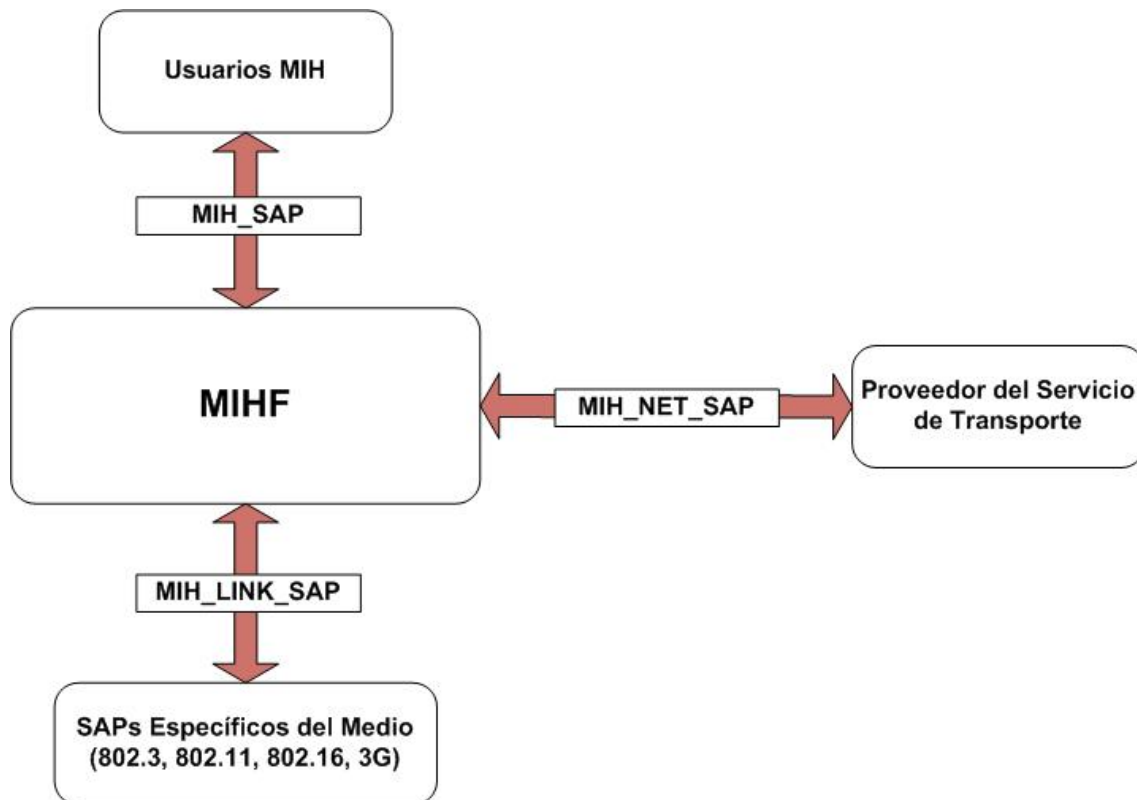


Figura 1.15: Relaciones entre diferentes SAPs de las entidades MIHF

El plano de datos está disponible para el transporte después de que el MN se haya autenticado con la red de acceso. En caso de redes Wi-Fi y Wi-Max, los mensajes del protocolo MIH pueden ser enviados antes de la autenticación del MN sobre el plano administrativo usando las respectivas tramas específicas del medio.

Un aspecto importante es que el nodo MIH debe esperar hasta que las transacciones pendientes de entrada o de salida se hayan completado para crear otra, es decir, en un momento dado sólo puede haber una transacción en una dirección, sea cual sea ésta. El protocolo MIH utiliza un servicio de reconocimiento de mensajes para la comunicación entre nodos MIH. Este servicio está apoyado por el uso de dos bits de información que son definidos exclusivamente para uso de reconocimiento (ACK) en la cabecera de la transacción MIH. El bit ACK-Req es establecido por el nodo MIH fuente y el bit ACK-Rsp por el nodo MIH destino para utilizar el servicio de reconocimiento.

Al solicitar el servicio de reconocimiento, el nodo MIH fuente activa un temporizador de retransmisión después de haber enviado el mensaje con el bit ACK-Req a la vez que guarda una copia del mensaje que estará disponible mientras el temporizador está activo. Si el mensaje no es recibido antes de la expiración del temporizador, el nodo MIH fuente retransmite inmediatamente el mensaje que tenía de copia, con el mismo identificador de mensaje y de transacción (incluyendo el ACK-Req). Si el nodo MIH fuente recibe el ACK-Rsp por parte del nodo MIH destino antes de la expiración del temporizador en el primero o cualquier de los intentos de retransmisión, el nodo MIH fuente asegura la recepción del paquete MIH, resetea el temporizador y libera la copia del mensaje guardada. Durante la retransmisión, si el nodo MIH fuente recibe el ACK de cualquiera de las transmisiones

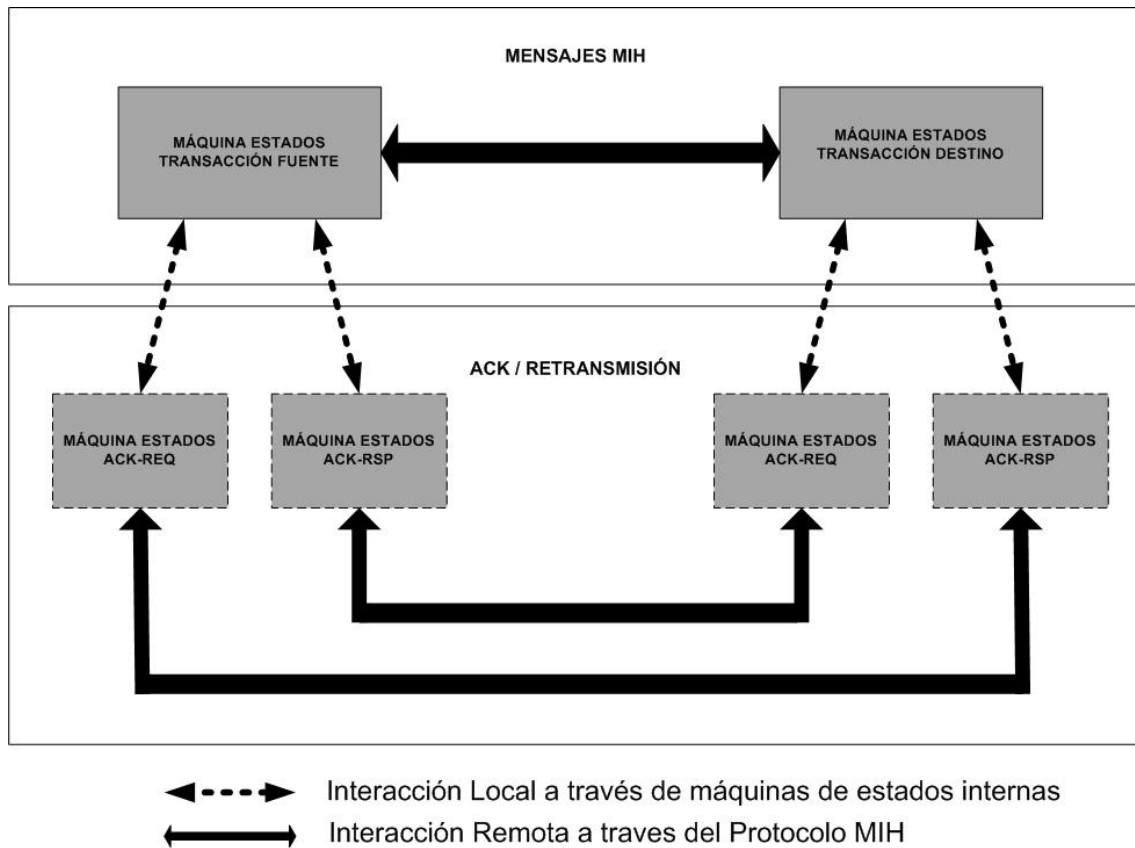


Figura 1.16: Interacciones entre máquina de estados

previas, determina que la entrega del mensaje se ha realizado satisfactoriamente y no tiene que esperar más allá de los ACKs del mensaje actual. Estas retransmisiones no son eternas, sino que hay definido un valor máximo de retransmisiones por parte del nodo MIH fuente.

Cuando el nodo MIH destino recibe el mensaje MIH con el bit de ACK-Req, retorna un mensaje MIH con el bit ACK-Rsp utilizando el identificador del mensaje y de la transacción. Este mensaje no tiene contenido, sino que solo lleva el bit de confirmación ACK-Rsp. Este proceso se recoge en la máquina de estados descrita en la Fig. 1.16.

1.3. Flujo de señales

El procedimiento de handover opera atendiendo a los puntos que aparecen a continuación. Las Figs. 1.17, 1.18, 1.19 y 1.20 muestran gráficamente este comportamiento.

1. El MN está conectado a la red servidora a través del PoS actual y puede acceder al servidor MIIS.
2. El MN hace peticiones de información sobre las redes vecinas enviando el mensaje de petición MIH.Get_Information hacia el servidor MIIS. El servidor MIIS responde con un mensaje de respuesta al MIH.Get_Information. Esta información se intenta obtener tan pronto como el MN se conecta por primera vez a la red.

3. Los triggers del MN inician el proceso de handover enviando el mensaje de petición MIH_MN_HO_Candidate_Query al PoS proveedor. Esta petición contiene la información de las redes potencialmente candidatas.
4. El PoS proveedor hace peticiones de la disponibilidad de los recursos de las redes candidatas enviando un mensaje MIH_N2N_HO_Query_Resources a uno de los multiples PoSs candidatos.
5. Los PoSs candidatos responden con un mensaje de respuesta MIH_N2N_HO_Query_Resources. El PoS proveedor notifica al MN de los resultados de la disponibilidad de los recursos de cada red candidata a través del mensaje de respuesta del MIH_MN_HO_Candidate_Query.
6. El MN decide cuál es la red objetivo para hacer el handover y notifica al PoS proveedor de la red seleccionada enviando el mensaje MIH_MN_HO_Commit. Además, el MN hace un cambio de enlace en la interfaz de la red objetivo invocando la primitiva MIH_Link_Actions.request.
7. El PoS proveedor envía el mensaje MIH_N2N_HO_Commit al PoS objetivo para pedir la preparación de los recursos de la red objetivo. El PoS objetivo responde con el resultado de la preparación de los resultados con un mensaje de respuesta MIH_N2N_HO_Commit.
8. La nueva conexión de la capa L2 está establecida y ciertos procedimientos de los protocolos de administración de movilidad son llevados a cabo entre el MN y la red objetivo.
9. El MN envía un mensaje de petición MIH_MN_HO_Complete al PoS objetivo. Éste, envía un mensaje de respuesta MIH_N2N_HO_Complete al PoS proveedor previo para liberar el recurso, el cual fue asignado al MN. Después de haber identificado que el recurso esta liberado satisfactoriamente, el PoS objetivo envía un mensaje de respuesta MIH_MN_HO_Complete al MN

Como ejemplo, presentamos el siguiente caso de uso. Las figuras 1.21, 1.22 y 1.23 muestran el flujo del handover entre tecnologías heterogéneas, como son Wi-Fi (IEEE 802.11) y Wi-Max (IEEE 802.16). Es un ejemplo del procedimiento dual de un handover en el que ambos están envueltos en el proceso de poder transmitir y recibir al mismo tiempo.

1. Información de las redes

El MN está conectado a la red IEEE 802.11 y recibe el informe de la medición de su enlace a través del mensaje MIH_Link_Parameters_Report.indication. Además, adquiere la información de las redes vecinas a través del MIH_Get_Information.confirm.

2. Inicio de la transición

Cuando se pierda la conectividad con la red en la que estábamos (IEEE 802.11) a través del evento Link.Going_Down, el MN lleva a cabo la petición MIH_Link_Actions.request para escanear el estado del enlace de las redes candidatas. El MN descubre la red Wi-Max (IEEE 802.16) y adquiere los parámetros de su red.

3. Verificación de recursos

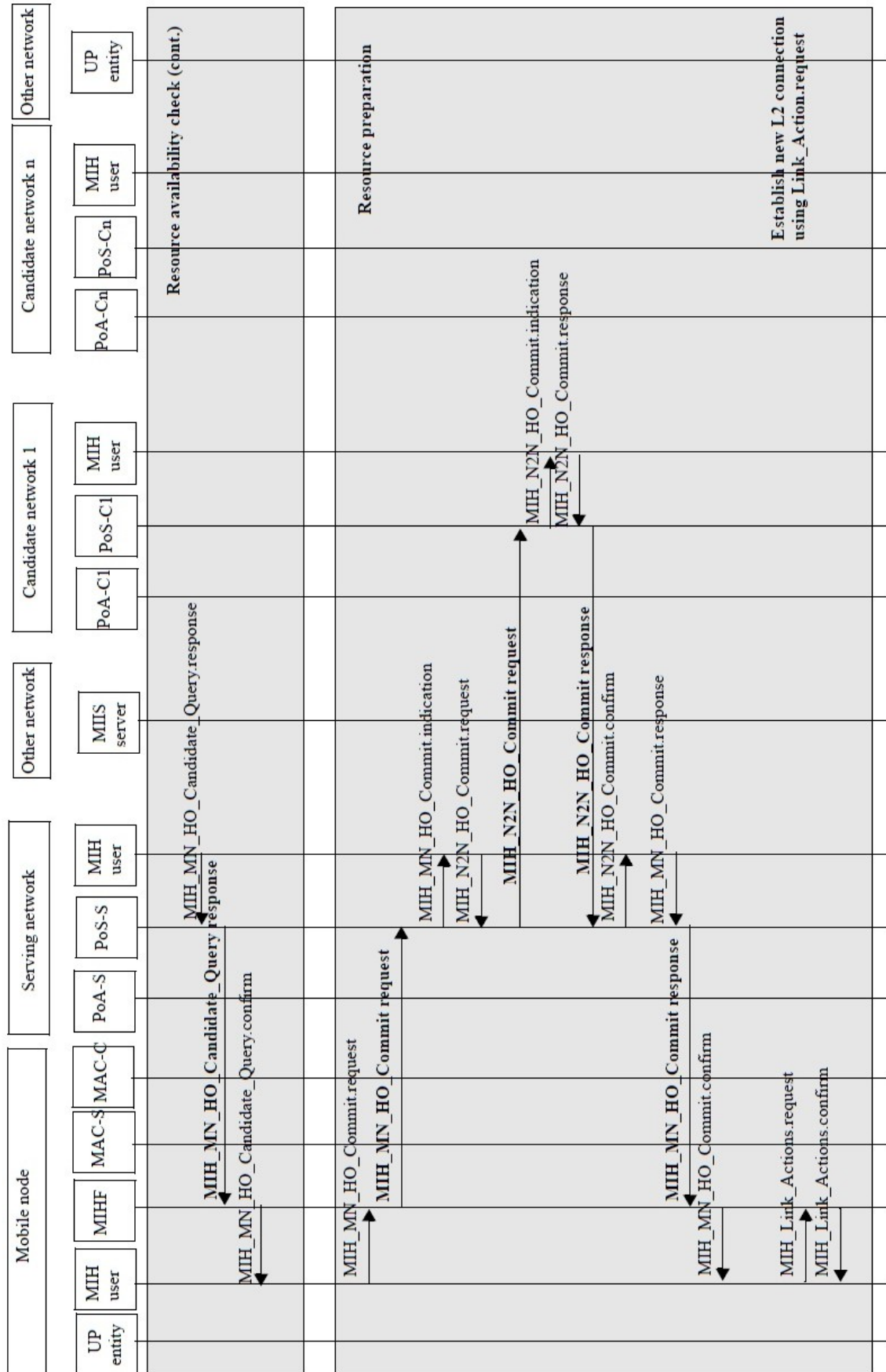


Figura 1.18: Proceso de Handover iniciado por el MN (2 de 4)

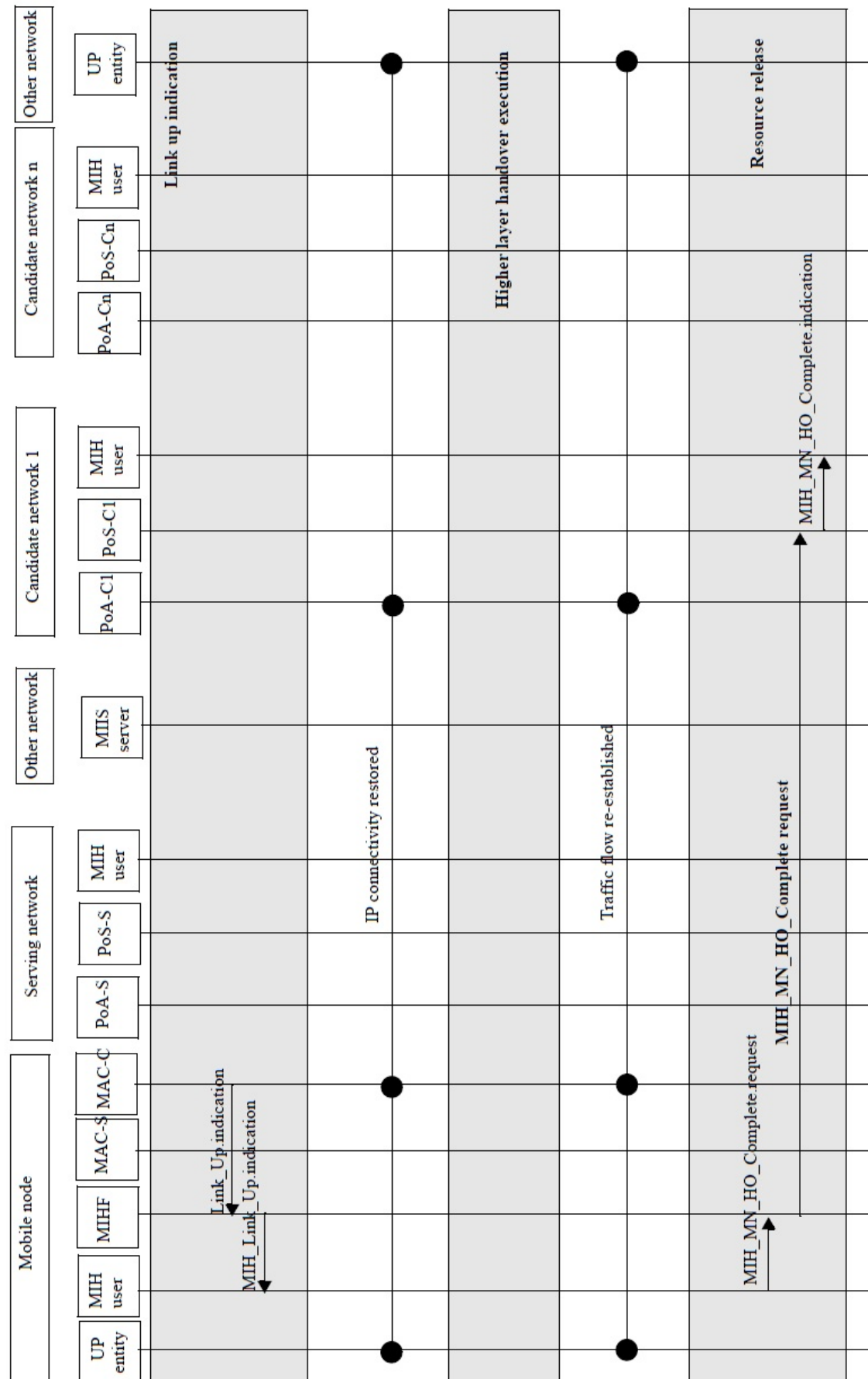


Figura 1.19: Proceso de Handover iniciado por el MN (3 de 4)

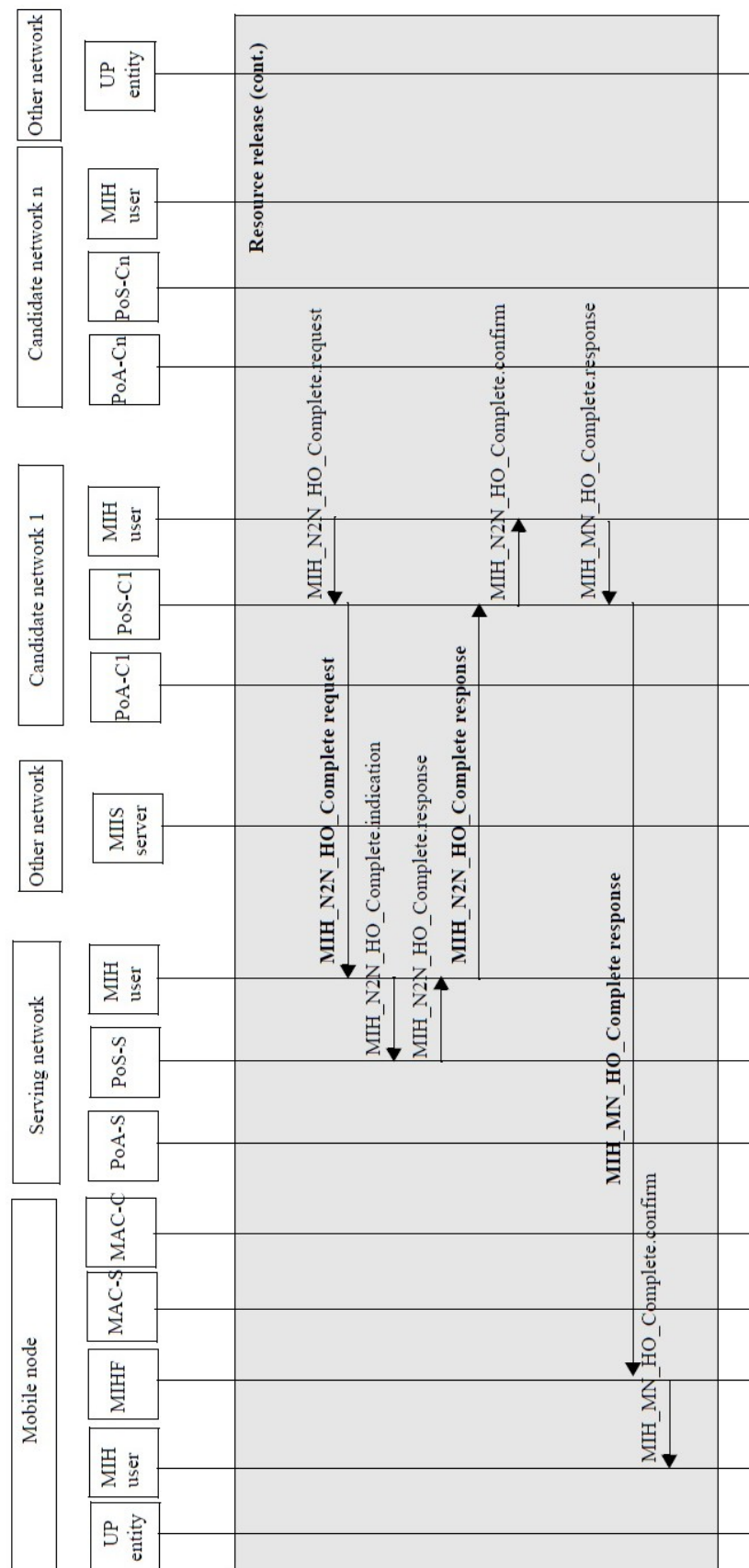


Figura 1.20: Proceso de Handover iniciado por el MN (4 de 4)

El MN identifica la disponibilidad de recursos (QoS, coste, ancho de banda y configuraciones de red) de la red candidata enviando el mensaje MIH_MN_HO_Candidate_Query al PoS proveedor. Cuando éste recibe la petición MIH_MN_HO_Candidate_Query desde el MN, recupera la información de los recursos de la red objetivo a través del mensaje MIH_N2N_HO_Query_Resources con los PoSs de las redes candidatas.

4. Decisión del handover

Basado en la disponibilidad de los recursos y otros criterios de selección, la red IEEE 802.16 está seleccionada como el objetivo del handover. El MN envía el mensaje MIH_MN_HO_Commit al PoS proveedor para notificar la decisión de la red objetivo. El PoS proveedor reserva el recurso en la red disponible a través de mensajes MIH_N2N_HO_Commit.

5. Ejecución del handover

El MN realiza un cambio de enlace en la interfaz que contiene del IEEE 802.16 y la nueva conexión de la capa L2 para la red objetivo 802.16 está establecida. Los procedimientos del mobile IP son llevados a cabo entre el MN y la red IEEE 802.16. Como resultado de esto, las sesiones activas están ahora desplazadas a la red destino, es decir, la IEEE 802.16.

6. Finalización

El MN envía el mensaje MIH_MN_HO_Complete al PoS proveedor de la red IEEE 802.16 y este PoS intercambia los mensajes MIH_N2N_HO_Complete con el PoS previo situado en la red 802.11 para liberar el recurso que fue reservado por el MN en la red.

1.4. Servicios de Información

1.4.1. Servidor de Información

El estándar define para el servidor de información un enfoque centralizado. Este tipo de arquitectura tiene como consecuencia las siguientes desventajas:

- Sólo existe un servidor de información para los puntos de acceso existentes.
- Sólo existe un único punto de fallo.
- Arquitectura imposible de escalar ya que el servidor no sería capaz de soportar un elevado número de peticiones.
- Este tipo de topología supone una elevada sobrecarga en tiempo e información enviada.

1.4.2. Elementos de Información

El MIIS clasifica los elementos de información (IE) en los siguientes 3 grupos:

- Información General e Información Específica de la Red de Acceso: estos IE dan una visión general de las diferentes redes que proveen una cobertura dentro de un área. Por ejemplo, una lista de redes disponibles y sus operadores asociados, acuerdos de

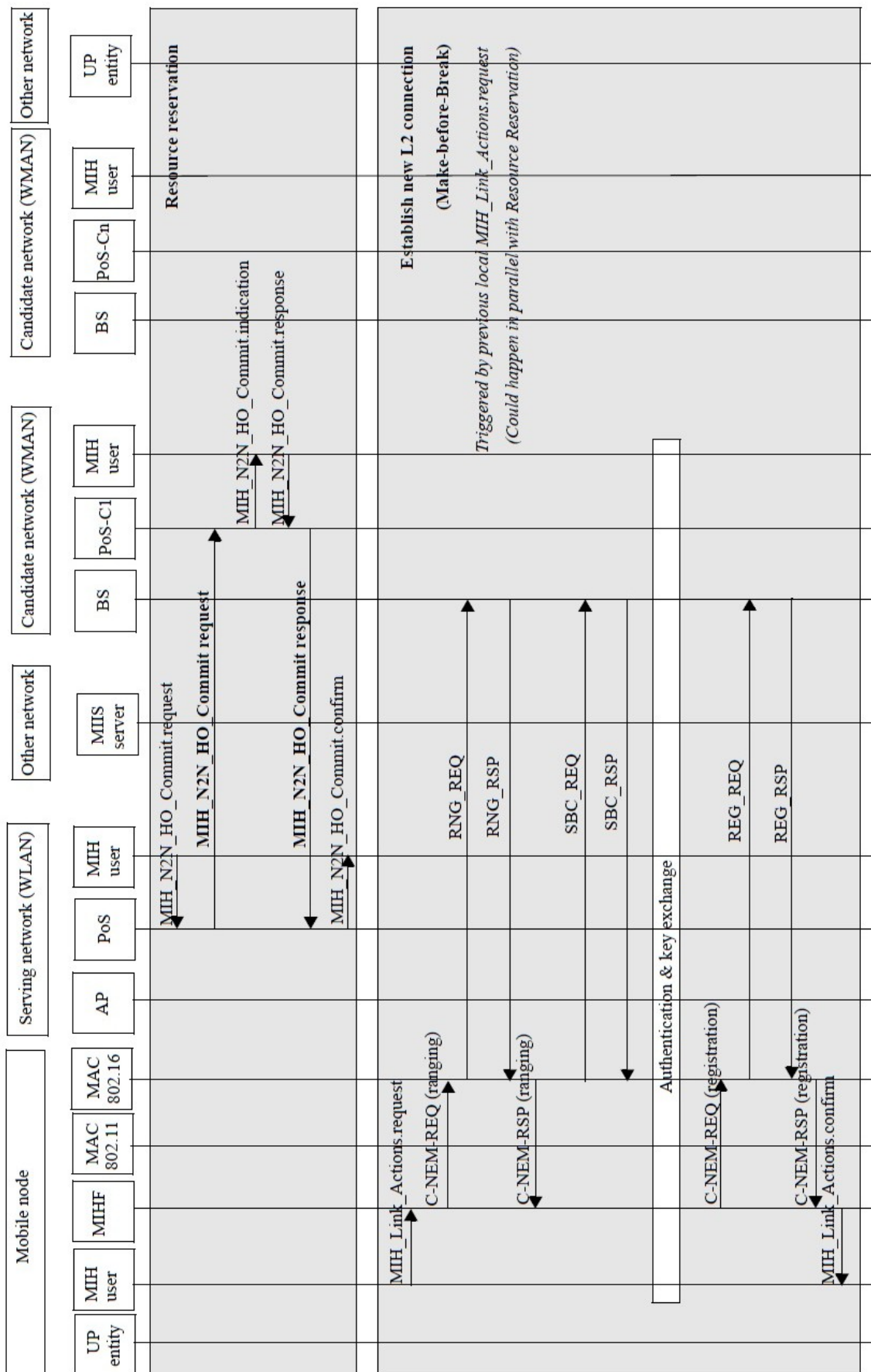


Figura 1.22: Proceso de Handover entre IEEE 802.11 e IEEE 802.16 (2 de 3)

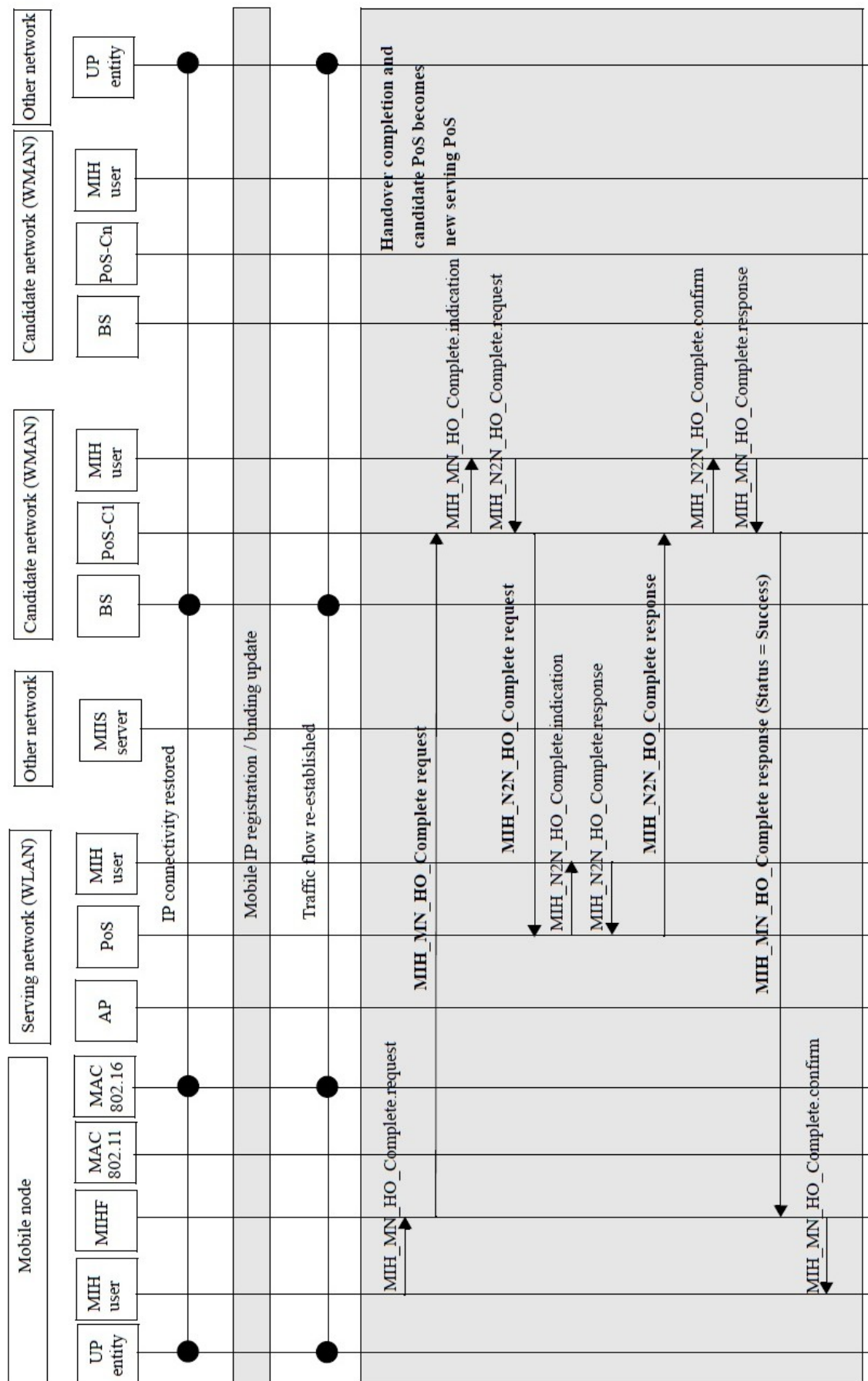


Figura 1.23: Proceso de Handover entre IEEE 802.11 e IEEE 802.16 (3 de 3)

roaming entre diferentes operadores, coste de la conexión a la red, seguridad de la red y las capacidades de QoS.

- Información Específica del PoA: estos IE proveen información sobre los diferentes PoAs de cada una de las redes disponibles. Los IE de esta categoría incluyen información de direccionamiento del PoA, localización del PoA, tasa de datos soportada, el tipo de las capas PHY y MAC y cualquiera de los parámetros del canal para optimizar la conectividad de la capa de enlace. Además, incluye servicios a las capas superiores y las capacidades individuales de los diferentes PoAs.
- Otra información que es específica de la red de acceso y del operador, servicios específicos, etc..

1.5. Trabajos relacionados

Varios proyectos han empezado a investigar los servicios del IEEE 802.21 [1]. Lampropoulos et al [3] propone el uso de los servicios MIH para conseguir los requisitos de calidad de servicio de la aplicación para una interrupción mínima a lo largo de la handover vertical. Pontes et al [4] investiga los servicios MIH abordando la integración de IEEE 802.11 e IEEE 802.16, centrándose principalmente en los aspectos de gestión de la transición provistos por el framework del MIH. Taniuchi et al [5] presenta unas consideraciones de diseño para la implementación de MIH. Lampropoulos et al [6] propone una funcionalidad mejorada del handover integrando las redes Wi-Fi/Wi-Max donde se consideran cuestiones como la conservación de recursos y la gestión de energía que no estaban cubiertos en el estándar IEEE 802.21.

Más cercano a la funcionalidad del MIIS, Mussabbir et al [7] propone un mecanismo que optimiza el proceso de handover FMIPv6 con la ayuda de servicios MIH para redes de vehículos. Lim et al [8] hace uso de los servicios MIIS suministrando al MN una lista de canales válidos almacenada en el servidor MIIS. Tras recibir la respuesta de petición de información, el MN ejecuta un proceso de escaneo selectivo, reduciendo el tiempo de descubrimiento de redes. Floroiu et al [9] propone la integración la arquitectura MIH en un subsistema multimedia IP (IP Multimedia Subsystem IMS) para optimizar la calidad de los servicios punto-a-punto (end-to-end). Su arquitectura de tecnología cruzada considera una infraestructura MIIS jerárquica donde los servidores MIIS intercambia información como la calidad del servicio, los parámetros relacionados con el coste, pero sin suministrar ninguna organización o especificación de la infraestructura del MIIS. Yoo et al [10] propone un framework de transición predictivo que usa la información del tiempo de vuelo (round trip delay) entre los PoA vecinos para estimar el tiempo necesario para la transición, mejorando el rendimiento en entornos heterogéneos. Christakos et al [11] explora los servicios MIIS para mejorar el rendimiento de movilidad para FMIPv6 suministrando información de autenticación permitiendo al MN autenticarse con la red elegida mientras está conectado en otro lugar de la red. Neves et al [12] escribe sobre un servidor de información independiente del medio consciente del contexto, el cual gestiona y almacena información dinámica del PoA. Younhyun et al [13] introduce un servidor de información mejorado en el que el MN, de forma periódica, envía información dinámica al servidor MIIS. Buiati et al [14] propone una topología distribuida de forma jerárquica de MIIS. Finalmente, De Vogeleer et al [15] introduce una topología de anillo que usa DHT (tablas hash distribuidas) basado en P2P (Peer to peer) que proporciona más robustez y tolerancia a fallos al sistema.

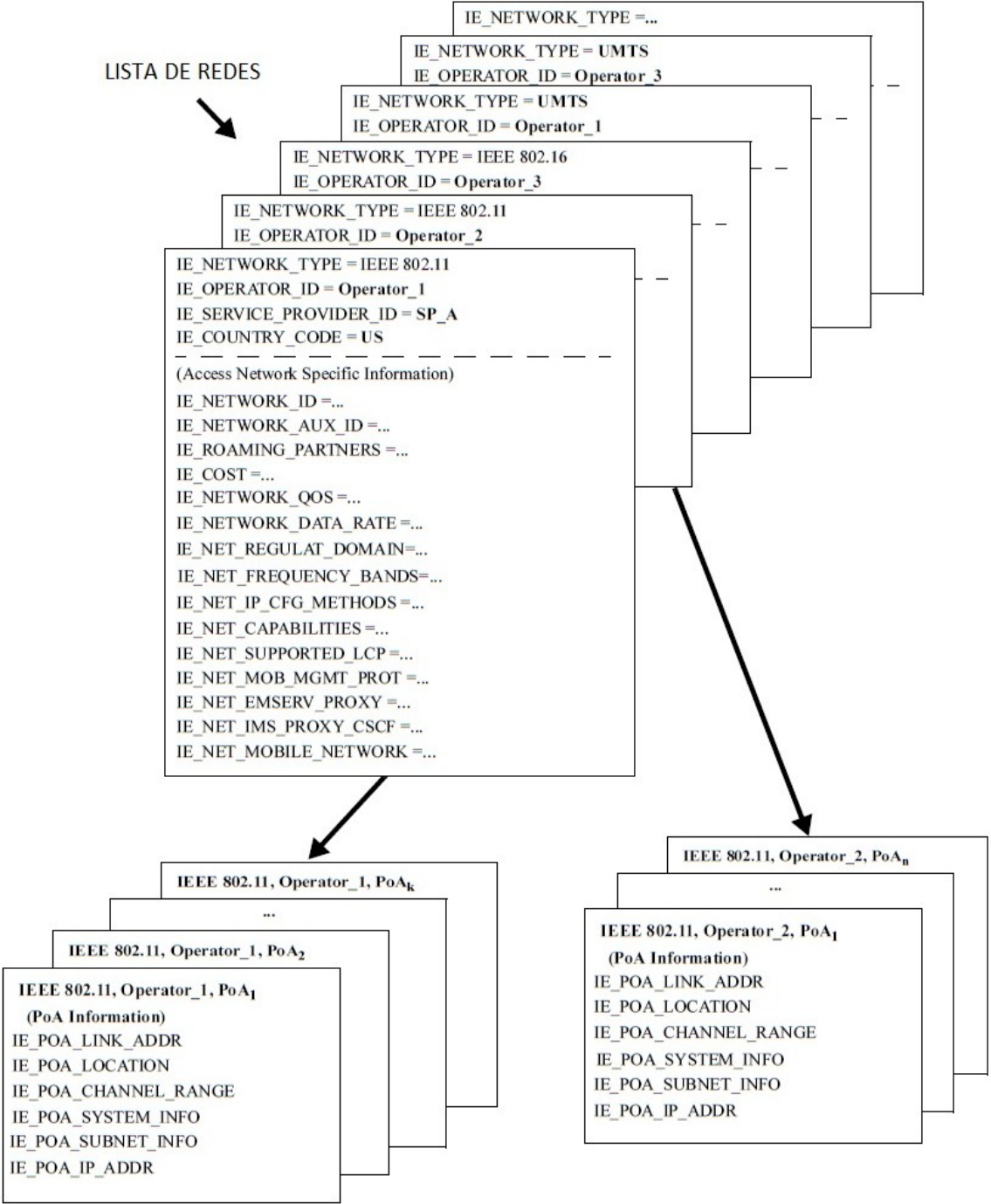


Figura 1.24: Lista de redes vecinas con IE

Capítulo 2

SIDAM

En este apartado presentamos en qué consiste el proyecto. SIDAM responde a Sistema de Información Dinámico para el estándar 802.21 con Arquitectura de Malla. Primero definimos la estructura del sistema, tanto física, como de la información. Luego procedemos a explicar el comportamiento del sistema. Además, mostramos las ventajas de este sistema y proponemos diferentes optimizaciones para diferentes ámbitos. Por último, mostramos varias opciones de implantación.

2.1. Estructura

Los servidores se distribuyen formando una malla. Cada servidor guarda la información de los PoA en un área. Esta área se superpone con los servidores vecinos, de manera que el área está totalmente cubierta por los vecinos, como se puede ver en la Fig.2.1.

La geometría de las celdas de la malla que hemos tomado, ha sido cuadrada, por su sencilla manipulación. También hemos de tener en cuenta que esta distribución es más lógica, que física. Los servidores pueden estar distribuidos físicamente de otra manera, como ya comentaremos en la sección de implantación, pero han de gestionar zonas solapadas de esta forma.

En este sistema almacenamos dos tipos de información. La información estática del PoA y de la red, explicada previamente como elementos de información (IE) y la información dinámica del PoA. Dentro de la información dinámica del PoA, también existen dos grupos: la información suministrada por el PoA (PoA Provided Information PPI) y la información suministrada por el MN (MN Provided Information MPI). La estructura de la información tanto dinámica como estática se recoge en la Fig. 2.2.

La PPI está basada en el trabajo de Pontes et al [4], y consta de todos los aspectos variables del PoA que son relevantes en el momento de hacer el handover. Entre ellos se pueden encontrar: ocupación de recursos, sobrecarga de la red, ancho de banda disponible, pérdida de paquetes y distintos parámetros de la capa de enlace.

La MPI está basada en los trabajos de Younghyun et al [13]. Usando la información que nos envían los MN, somos capaces de estimar la calidad de la señal en un punto a través de métodos estadísticos. La información que nos envían los MN es en forma de tuplas de información estadística (Statistical Information Tuple SIT). Estas tuplas contienen la calidad de la señal, el PoA sobre el que toma la medida, y el momento y lugar

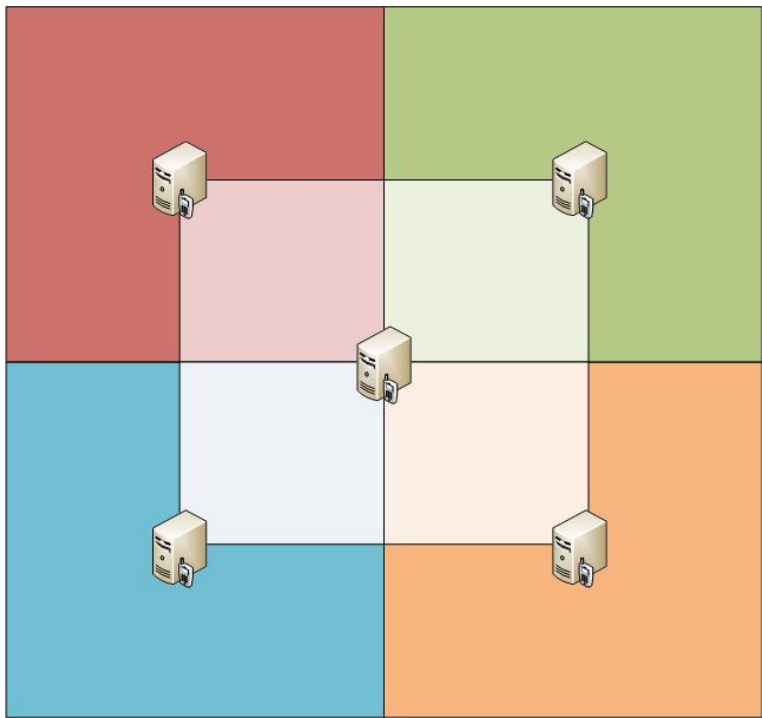


Figura 2.1: Área de acción de los IS

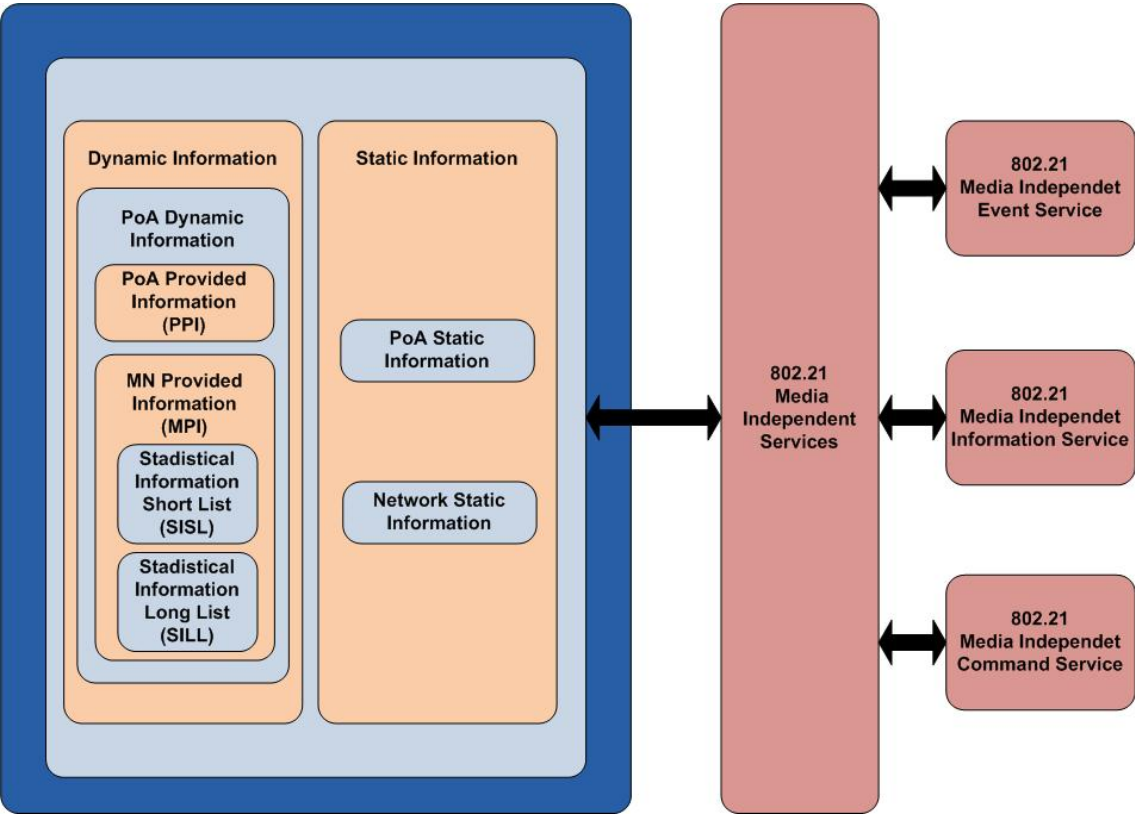


Figura 2.2: Estructura de la información dinámica y estática

de la medida. Una vez llegan las tuplas al servidor de información, éstas son almacenadas en la Lista de Información Estadística Corta (Statistical Information Short List SISL) y la Lista de Información Estadística Larga (Statistical information Long List SILL). Con estas listas se calcula la calidad de la señal media en un punto. En el próximo apartado se precisa el comportamiento de estas listas.

2.2. Comportamiento

Los PoA tienen que registrarse en el Sistema de Información para estar disponibles en el servicio MIH. En este registro, el PoA envía toda su información estática al Servidor MIIS más cercano. Este servidor se convierte entonces en el servidor asociado al PoA. Este servidor también se encarga de distribuir a través del sistema esta información, a todos los servidores cuyo área solape con la cobertura del PoA.

A partir de ese momento, el PoA enviará de forma periódica su estado a través de mensajes de actualización a su servidor MIIS asociado. Este servidor se encarga de comprobar los cambios desde el último estado guardado. Si esos cambios superan unos umbrales predefinidos, el servidor asociado distribuye al resto del sistema estos cambios, para que la base de datos quede actualizada.

Por otra parte, los MN, al conectarse a un PoA, establecen como servidor MIIS actual, al servidor asociado del PoA. El servidor MIIS actual es aquel al que el MN envía las peticiones de información. Estas peticiones llevan “a caballito” una SIT y se envían de manera periódica, para mantener las SILs actualizadas, y que el MN siempre conozca el mejor PoA en su posición. En la respuesta, aparte de toda la información relevante, devuelve el servidor MIIS al que ha llegado la petición. De esta manera, se actualiza el servidor MIIS actual según va moviéndose por las diferentes áreas.

Los servidores MIIS, aparte de suministrar toda la información, se encargan de la distribución de esta información por todo el sistema, para mantener la consistencia. El sistema que sigue, es distribuir la información a todos aquellos vecinos interesados. Un vecino está interesado si el PoA del que se distribuye la información tiene cobertura sobre el área del vecino. El servidor MIIS, al recibir nueva información, distribuye de nuevo a todos los vecinos interesados, menos a aquel que envió la información en primer lugar. Sin embargo, si ya tiene la información, no seguirá distribuyéndola. Para comprobar si la información es nueva o no, se usan marcas de tiempo en los distintos tipos de información.

El servidor MIIS, al recibir una petición de información, tiene que comprobar si el MN se encuentra dentro del área de este servidor MIIS. En caso de no estar dentro del área, enviará la petición de información al servidor MIIS correcto.

Una vez en el servidor MIIS correcto:

- Se guarda la SIT en la SISL.
- Se comprueban los PoA a los que puede acceder el MN.
- Se calcula con las diferentes SILL la calidad de la señal en la posición del MN en los diferentes PoAs.

- Se incluye el nombre de este servidor, para actualizar el servidor MIIS actual
- Se envía toda la información del PoA, incluida la calidad de la señal y el nombre del servidor.

Una vez la SISL está llena, se vuelca toda su información en la SILL, eliminando los valores más antiguos de la SILL. Tras el volcado, se distribuye esta SISL, y se vacía, para admitir nuevas SITs. Este comportamiento le da más consistencia a los datos en el sistema.

La especificación de los mensajes utilizados y su comportamiento están más detallados en el Apéndice C.

2.3. Ventajas

Las ventajas de este sistema sobre el centralizado y sobre otras implementaciones son varias.

Por una parte, somos capaces de optimizar el handover. Como se ha explicado previamente, el proceso de handover consta de varias fases. Una de las que consumen más tiempo, es la de descubrimiento de los puntos de acceso. Incluso cuando el servidor de información nos da datos sobre ellos, tenemos que buscarlos, y ver si realmente cumplen nuestras necesidades. De esta manera, tenemos que escanear todos los candidatos, y elegir uno.

Sin embargo, en nuestro sistema, damos al usuario mucha más información. La calidad estimada, el ancho de banda disponible, la ocupación del punto de acceso, etc. Con toda esta información, el MN puede disponer del PoA más adecuado en relación con sus preferencias y situación actuales, sin necesidad de llevar a cabo un escaneo en el proceso de handover.

Por otro lado, se busca una menor latencia en la información que en sistemas jerárquicos. Al encontrarnos en una malla, no necesitamos recorrer toda la jerarquía cuando nos encontramos en diferentes celdas del espacio. Tan sólo tenemos que acceder al servidor más próximo. Este sistema mejora potencialmente los tiempos de acceso, y la sobrecarga de los servidores.

Además, la flexibilidad del sistema permite gran robustez, y permite diferentes configuraciones para su implantación, dando facilidades tanto a usuarios como a operadores para usar el sistema.

2.4. Optimizaciones

Las diferentes optimizaciones que podemos desarrollar para aprovechar el sistema también son numerosas.

Una de las más importantes, son los cambios de densidad en la malla. En las zonas rurales encontramos pocos PoA y pocos MN, por lo que los servidores MIIS no están siendo utilizados en gran medida. Por lo tanto, podemos agrandar el área de los servidores MIIS

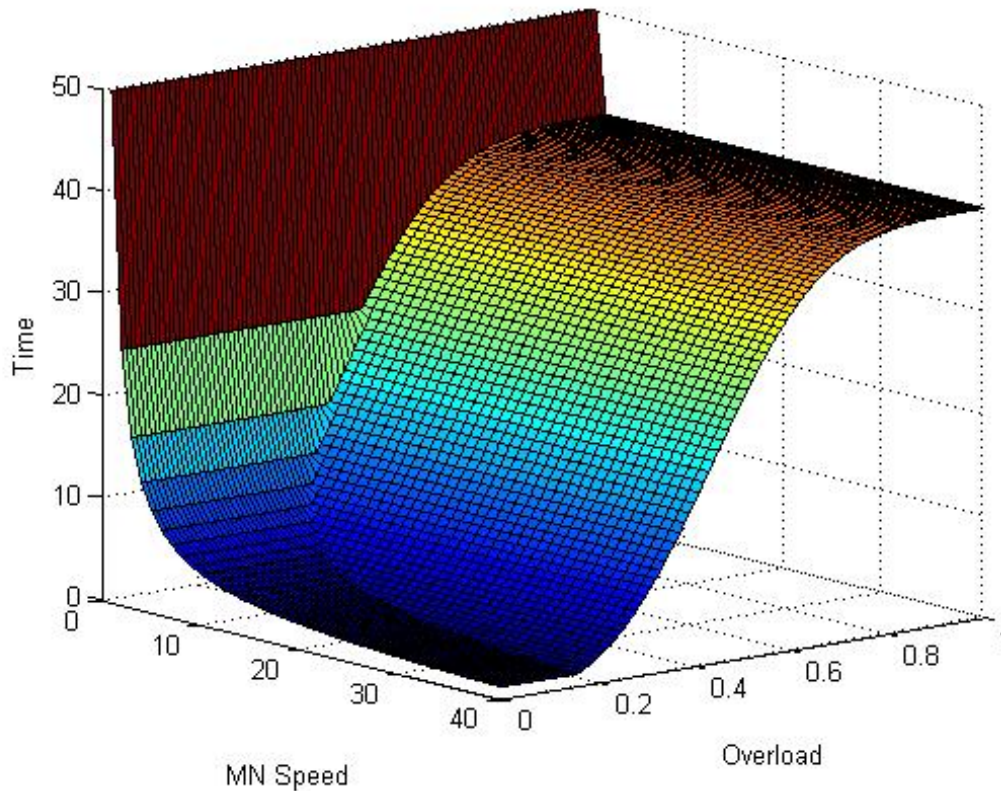


Figura 2.3: Relación entre la velocidad del nodo, la sobrecarga del servidor MIIS y el tiempo entre Peticiones

sin perjudicar a la calidad del servicio. Por otro lado, las grandes ciudades pueden tener millones de MN y PoAs. En estas zonas, para tener una buena relación entre la sobrecarga de los servidores, y la calidad del servicio, interesa disminuir el área de los servidores MIIS, y así aumentar su densidad.

Para responder a la misma relación de calidad de servicio y sobrecarga de los servidores, podemos crear diferentes algoritmos para la periodicidad de los mensajes. Por ejemplo, hemos desarrollado un modelo de periodicidad para los mensajes de petición de información.

Dado un MN que sea capaz de calcular su velocidad, calculamos el tiempo que tarda en salir de un radio concreto. Ese tiempo es el periodo entre peticiones. Pero el servidor MIIS puede limitar este periodo, según su sobrecarga. Para esta limitación hemos modelado una curva de Weibull.

En la Fig. 2.3 se encuentra la gráfica de períodos para distintos valores de sobrecarga y velocidad del móvil. Esta gráfica supone los valores en la Tabla 2.1.

Para el envío periódico de información proponemos que la PPI tenga una periodicidad estática debido a la importancia de su información. Por el contrario para la MPI, como ya hemos mencionado, su periodicidad de envío es dinámica. Además se deben fijar um-

Tabla 2.1: Valores de medida para la relación entre velocidad del nodo, la sobrecarga del servidor MIIS y el tiempo entre peticiones

Parámetros	Valor
Tasa mínima con sobrecarga	40s
Tasa máxima	180s
Distancia viajada entre queries	50m

brales para la actualización de la PPI con el objetivo de evitar la sobrecarga con mensajes redundantes. Si un valor de la PPI cambia de forma significativa, esta información debe ser actualizada y distribuida a través del sistema. El umbral de actualización será propio de cada PoA. Este algoritmo de actualización está representado a continuación. Éste, es ejecutado cuando el servidor MIIS recibe un mensaje de actualización.

$\delta(f)$: Diferencia de valor del campo f entre el momento actual y el tiempo de la última ejecución.

$Threshold(f)$: Umbral calculado para el campo f .

$$\begin{aligned}
 &\forall \text{ campo } f \text{ EN PPI} \\
 (2.1) \quad &Si(\delta(f) > Threshold(f)) \text{ entonces} \\
 &\quad Se actualiza } f \text{ en el servidor MIIS y lo distribuye}
 \end{aligned}$$

De forma adicional, para la periodicidad de envío de la PPI, proponemos umbrales semi-dinámicos. En momentos de alta sobrecarga en el área de la red, el MN necesita ser informado de la PPI lo antes posible con el objetivo de elegir el PoA menos sobrecargado.

Este umbral es planificado dependiendo del tráfico de la red el cual es calculado con herramientas de monitorización. En situaciones de alta sobrecarga de tráfico, el intervalo de actualización de la PPI necesita ser menor al intervalo de actualización de la MPI. Es decir, el umbral de actualización debe ser menor que en casos de menor sobrecarga.

2.5. Implantación

Para la implantación de este sistema en el mundo real deberíamos de plantearnos varios factores:

- La infraestructura.
- La financiación.
- La aceptación del usuario.
- La aceptación de los operadores.

Desde el punto de vista de la infraestructura, veremos en las simulaciones que los servicios de información no necesitan grandes capacidades ni de cálculo, ni de red, así que pueden ser utilizados otros servidores ya existentes. Además, el concepto de distribución

en malla, no ha de ser representado físicamente de la misma manera. El concepto de malla se puede representar tan sólo de manera lógica. Esto permite que varios servidores MIIS se encuentren en la misma máquina.

Por otra parte, proponemos para la financiación, que una entidad pública gestione los servicios de información. El modelo de negocio consistiría en el pago por parte de los operadores por mantener la información de sus puntos de acceso en el servicio de información global.

Para los usuarios, la existencia de este sistema de información, aunque transparente, mejoraría su experiencia en las conexiones inalámbricas, permitiendo transiciones más rápidas, más eficientes, y más efectivas. A parte, con el modelo de negocio propuesto, podría incluso reducir costes.

Por último, las compañías encontrarían en este sistema varias ventajas. Para empezar, reducirían los costes en mantenimiento de los servidores de información propios. Podrían elegir qué puntos de acceso serán mostrados, gracias a filtros a nivel de punto de acceso. De esta manera, también podrán comerciar entre operadores con derechos a mostrar información de sus puntos de acceso o no. Las primeras beneficiadas serán las compañías pequeñas, ya que puede no interesarles mantener los servidores, pero sí registrar sus puntos de acceso en el sistema.

Este tipo de comercialización también es sencillo de hacer en otros modelos, en los que cada operador tenga su propio sistema de información. Sería tan sencillo como permitir que se registren en tu sistema de información los PoAs de otras compañías.

Capítulo 3

Simulación y Resultados

En este caso, implementamos la funcionalidad del servidor MIIS incluyéndola en la implementación de MIH en el NS-2. La simulación tiene dos objetivos principales: (1) calcular el tiempo de acceso (RTT) de la petición al servidor MIIS en la arquitectura de malla y, (2) estimar la latencia media del handover, asumiendo handovers óptimos, usando la arquitectura de malla en un escenario aleatorio de movilidad.

De forma adicional, a través de modelos matemáticos, se prueban las características mejoradas de esta arquitectura distribuida.

3.1. Entorno

En este apartado vamos a presentar las distintas herramientas usadas para la obtención de resultados. Estas herramientas son NS-2 y MATLAB.

3.1.1. NS-2

Las siglas de NS-2 pertenecen a una herramienta de simulación de redes cuyo nombre completo es Network Simulator. Se usa principalmente en ambientes educativos y de investigación. Permite simular tanto protocolos unicast como multicast y se utiliza intensamente en la investigación de redes móviles ad-hoc. Implementa una amplia gama de protocolos tanto de redes cableadas como de redes inalámbricas. La versión actual, NS-3, esta diseñada para soportar todo el flujo de trabajo de la simulación desde la configuración hasta la recolección y análisis de tramas.

La versión que hemos utilizado es NS-2, que fue desarrollado en C++ y provee una interfaz de simulación a través de OTcl, una variante Orientada a Objetos de Tcl. El usuario describe una topología de red por medio de scripts OTcl, y luego el programa principal de NS-2 simular dicha topología utilizando los parámetros definidos. NS-2 esta diseñado para sistemas operativos Linux, FreeBSD, Solaris, Mac OS X y puede ejecutarse bajo Windows utilizando Cygwin. Fue licenciado bajo GPL versión 2.

3.1.2. TCL

Tcl (Tool Command Language) es un lenguaje de programación de comandos muy popular para el desarrollo de pequeñas aplicaciones en entornos UNIX (aunque también

existe una versión disponible para Windows). Permite programar de forma rápida y sencilla aplicaciones no demasiado complejas. Sin embargo, la velocidad de ejecución de éstas no será muy elevada ya que nos encontramos ante un lenguaje interpretado y no ante un lenguaje compilado.

Una característica muy importante de este lenguaje es la facilidad con la que se pueden añadir nuevos comandos a los ya existentes en el Tcl estándar. Estos nuevos comandos pueden implementarse utilizando el lenguaje de programación C e integrarse de manera sencilla en Tcl. Así, se han escrito bastantes extensiones para la realización de ciertas tareas comunes como, por ejemplo, OTcl (Tcl orientado a objetos) o Tk (que permite crear interfaces gráficas de usuario).

Se pueden ejecutar comandos Tcl de dos modos:

1. Modo interactivo: directamente, a través del intérprete de comandos tclsh, se pueden introducir y ejecutar comandos Tcl de forma interactiva.
2. Modo no interactivo: los comandos se guardan en un fichero. Se pueden ejecutar de dos maneras:
 - Llamando al intérprete de comandos de Tcl pasándole como parámetro el nombre del fichero.
 - Ejecutando directamente el fichero de comandos. Para que esto sea posible, la primera línea del fichero debe incluir el path hacia el intérprete de comandos (por ejemplo, `!/usr/bin/tclsh`). Además, el fichero tiene que tener los permisos adecuados (permiso de ejecución).

3.1.3. Matlab

MATLAB (abreviatura de MATrix LABoratory, “laboratorio de matrices”) es un software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado (IDE) con un lenguaje de programación propio (lenguaje M). Está disponible para las plataformas Unix, Windows y Apple Mac OS X.

Entre sus prestaciones básicas se hallan: la manipulación de matrices, la representación de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuario (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. El paquete MATLAB dispone de dos herramientas adicionales que expanden sus prestaciones, a saber, Simulink (plataforma de simulación multidominio) y GUIDE (editor de interfaces de usuario - GUI). Además, se pueden ampliar las capacidades de MATLAB con las cajas de herramientas (toolboxes); y las de Simulink con los paquetes de bloques (blocksets).

Es un software muy usado en universidades y centros de investigación y desarrollo. En los últimos años ha aumentado el número de prestaciones, como la de programar directamente procesadores digitales de señal o crear código VHDL.

```
function [periodo] = fPeriodo(sobrecarga, limiteSobrecarga,
    periodoMaximo, radio, velocidad)
i = 0;
```

```

for x = velocidad
    i = i + 1;
    j = 0;
    for y = sobrecarga
        j = j + 1;
        periodoMinimo = limiteSobrecarga .* (1 .- 2.7182 .^
            ( -( y ./ 0.5 ) .^ 3 ) );
        velocidadMinima = radio./periodoMaximo;
        if (x < velocidadMinima)
            periodo(i,j) = max(periodoMinimo,periodoMaximo);
        else
            periodo(i,j) = max(radio./x,periodoMinimo);
        end
    end
end
end

```

3.2. Simulación

Los supuestos usados para la simulación están representados en la Tabla 3.1. Se han realizado varias simulaciones aleatorias usando distintas “seeds”. En el escenario simulado un handover es activado por la petición periódica de información “MIH Get Information MN”. Esta activación viene dada desde la propia entidad MIH. La causa principal son eventos “Link Detected” por la detección de otro PoA en caso de que éste sea mejor que el actual. Aunque también puede ser originado por eventos “Link Going Down” en caso de que el MN salga de la cobertura de su PoA y disminuya la calidad de la señal recibida (RSS). Los parámetros de la simulación están detallados en la Tabla 3.2 y el escenario simulado está representado en la Fig. 3.1. El tiempo total de simulación es de 7200 segundos.

Tabla 3.1: Supuestos para la simulación del escenario

Parámetros	Valor	Símbolo
Tiempo de reenvío del servidor	5s	γ
Tiempo de proceso de la respuesta	10s	δ
Retardo del canal inalámbrico	7s	α
Retardo del canal cableado	8s	β

3.3. Resultados

Gracias a las simulaciones de NS-2 se han obtenido los resultados descritos en la Tabla 3.3. Las latencias de handover más significativas están representadas en la Fig. 3.2. Para estos resultados suponemos el tiempo de handover como el tiempo desde que el MN emite la petición de información (MIH Get Information MN Request) hasta que el MN recibe el mensaje de finalización de handover (MIH MN_HO_Complete Response).

Para el cálculo del tiempo de acceso (RTT) de la petición suponemos la siguiente ecuación.

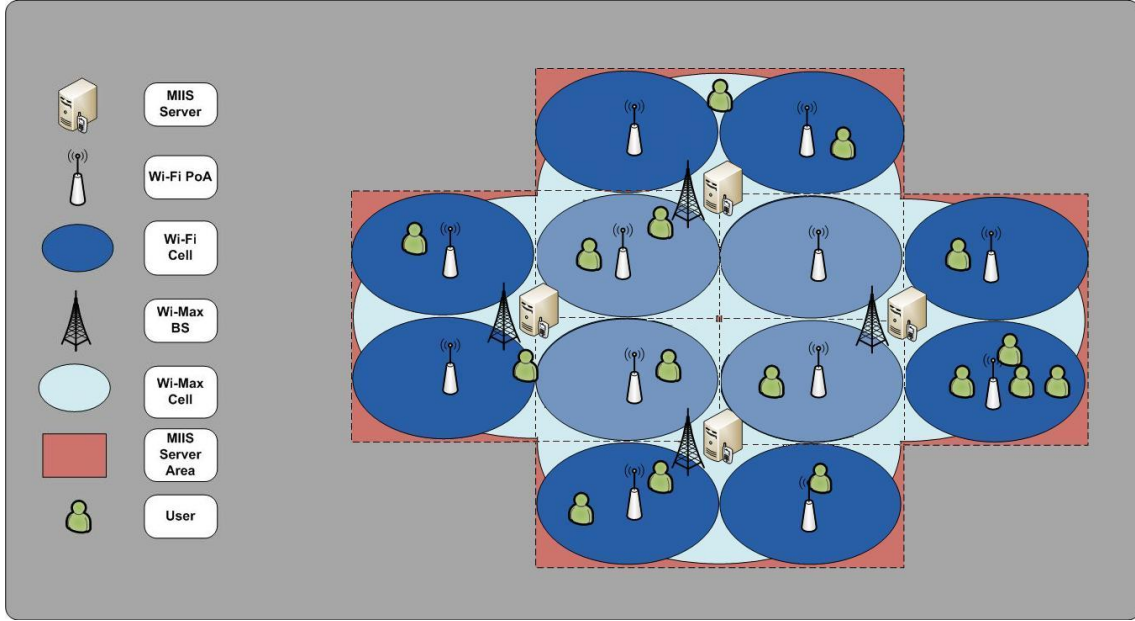


Figura 3.1: Escenario Wi-Fi con Wi-Max

$$(3.1) \quad RTT_{peticion} = 2 * \alpha + 2 * numero_saltos * (\beta + \gamma) + \delta$$

Estos resultados demuestran que el número medio de saltos desde el PoA del MN al servidor MIIS correcto es aproximadamente de 1.5 y las latencias de handover son menores que las mencionadas en los trabajos previos.

Para conseguir resultados más significativos, hemos desarrollado diferentes modelos matemáticos para, entre otras cosas, estimar la mejora de esta arquitectura con respecto a la centralizada.

El primer objetivo de los modelos es probar la escalabilidad del sistema. Con el modelo de flujo, comprobamos cómo se comporta el sistema para un número de usuarios muy grande. Para hacer esto, mostramos la relación entre los flujos de salida del sistema en relación con el sistema centralizado. Para los datos en la Tabla 3.4, conseguimos la Fig.3.3.

Esta figura nos muestra, para diferente número de servidores MIIS, cómo se consiguen rápidamente mejores valores que con el centralizado. Vemos que para, por ejemplo, 5 servidores MIIS, tan sólo es necesario alrededor de 70 usuarios para igualar la salida por servidor al del servidor centralizado. Además podemos observar cómo al poner demasiados servidores MIIS (la línea de 200 servidores), la sobrecarga de comunicación repercute en la optimización de los servidores.

Debido a esta sobrecarga de información, debemos calcular el número óptimo de servidores MIIS en un área. Para esto usamos otra vez el modelo de flujo. Con los datos de la Tabla 3.5, conseguimos la gráfica de la Fig. 3.4.

Con esto vemos que el flujo depende del radio de los PoA. El punto óptimo se encuentra cuando el lado del área del servidor MIIS es el doble que el radio del PoA. Siempre que el

Tabla 3.2: Valor de los parámetros de la simulación

Parámetros	Valor
Tiempo total de simulación	7200s
Topología del área	3km x 3km
Número de zonas de movilidad	4
Número de PoAs Wi-Fi	16
Número de PoAs Wi-Max	4
Radio transmisión PoA Wi-Fi	100m
Número de servidores MIIS	4
Modelo de movilidad	Random Waypoint
Número de MN	1
Velocidad del MN	3m/s
Tiempo entre peticiones	5s
Tiempo entre actualizaciones del PoA	20s

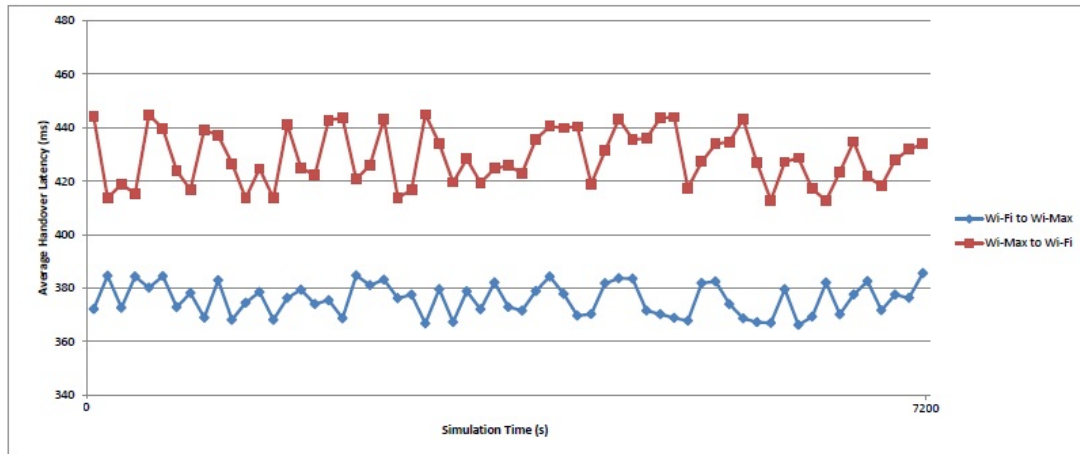


Figura 3.2: Resultados de latencias de handover

lado sea mayor, en el peor de los casos, el PoA va a estar presente en el mismo número de servidores MIIS. Sin embargo, al disminuir el lado, este número crece. De ahí la sobrecarga en comunicación.

Por último, presentamos el RTT del sistema. Hay que tener en cuenta que este modelo sólo calcula el RTT en el caso peor desde el PoA. El salto desde el MN al PoA se ha omitido debido a su fuerte dependencia del medio. Hemos obtenido la gráfica de la Fig. 3.5, usando los datos de la Tabla 3.6.

Aquí vemos que el RTT disminuye al aumentar el área del servidor MIIS. Tenemos que la gráfica es escalonada, debido a que realmente depende del número de saltos que haya que dar. También vemos que el RTT queda optimizado, a partir que el lado del área del servidor MIIS es igual al diámetro del PoA.

Tabla 3.3: Resultados la simulación

Descripción	Valor
Número de HO entre Wi-Fi - Wi-Max	114
Latencia Media HO (Wi-Max - Wi-Fi)	430 ms
Latencia Media HO (WiFi - WiMax)	376 ms
Número de peticiones	1223
Número de peticiones directas	731
Número de peticiones en 2 saltos	367
Número de peticiones en 3 saltos	125
Tiempo (RTT) medio de petición	63.1 ms

Tabla 3.4: Parámetros para la Fig. 3.3

Parámetros	Valor
Número de MN	1000
Número de PoA	100
Mensajes de actualización del PoA distribuidos	30 %
Tiempo entre queries	3s
Tiempo de actualización	2s
Área total	1000m
Tamaño SISL	100 tuplas

Tabla 3.5: Parámetros para la Fig. 3.4

Parámetros	Valor
Número de PoA	10 % del número de MN
PoA update messages distributed	30 %
Tiempo entre queries	3s
Tiempo de actualización	2s
Área total	1000m
Tamaño SISL	100 tuplas

Tabla 3.6: Parámetros para la Fig. 3.5

Parámetros	Valor
Velocidad de propagación	$0.7 \cdot c$ m/s
Tamaño del paquete	1.000 bytes
Tasa de transferencia de datos	10.000.000 bits/s
Tiempo de proceso de la respuesta	10ms
Tiempo de reenvío del servidor	5ms

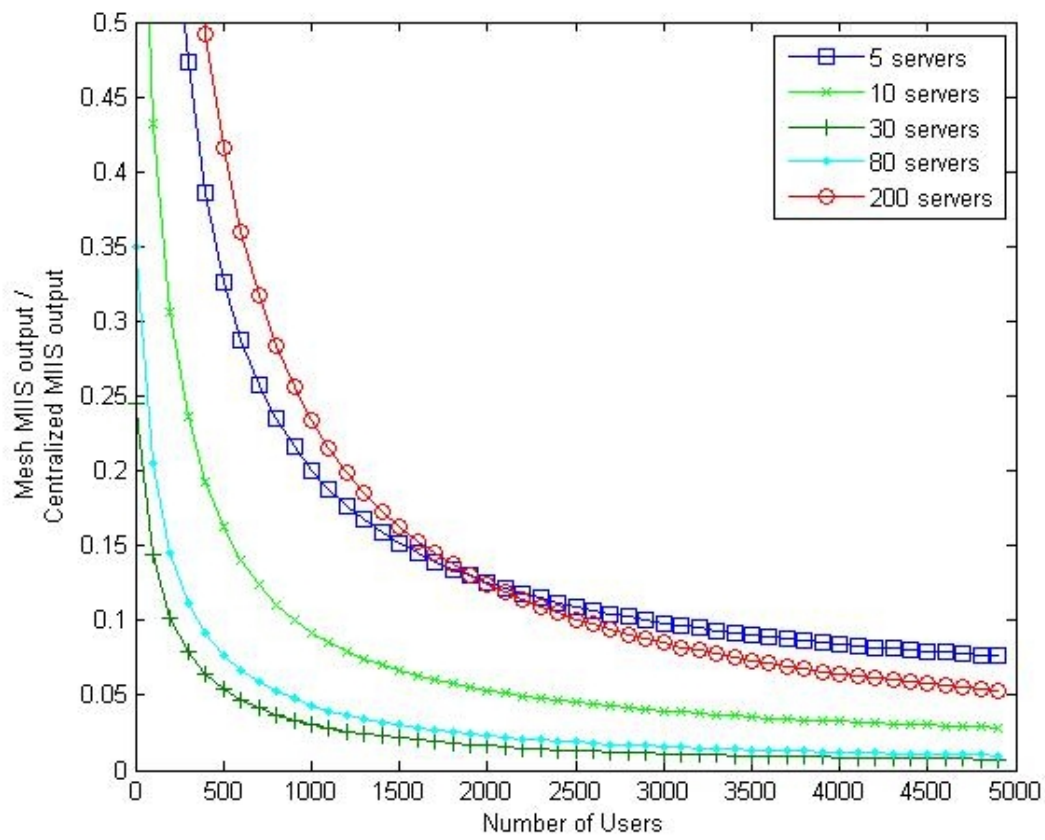


Figura 3.3: Relación de flujos de salida del sistema vs. sistema centralizado

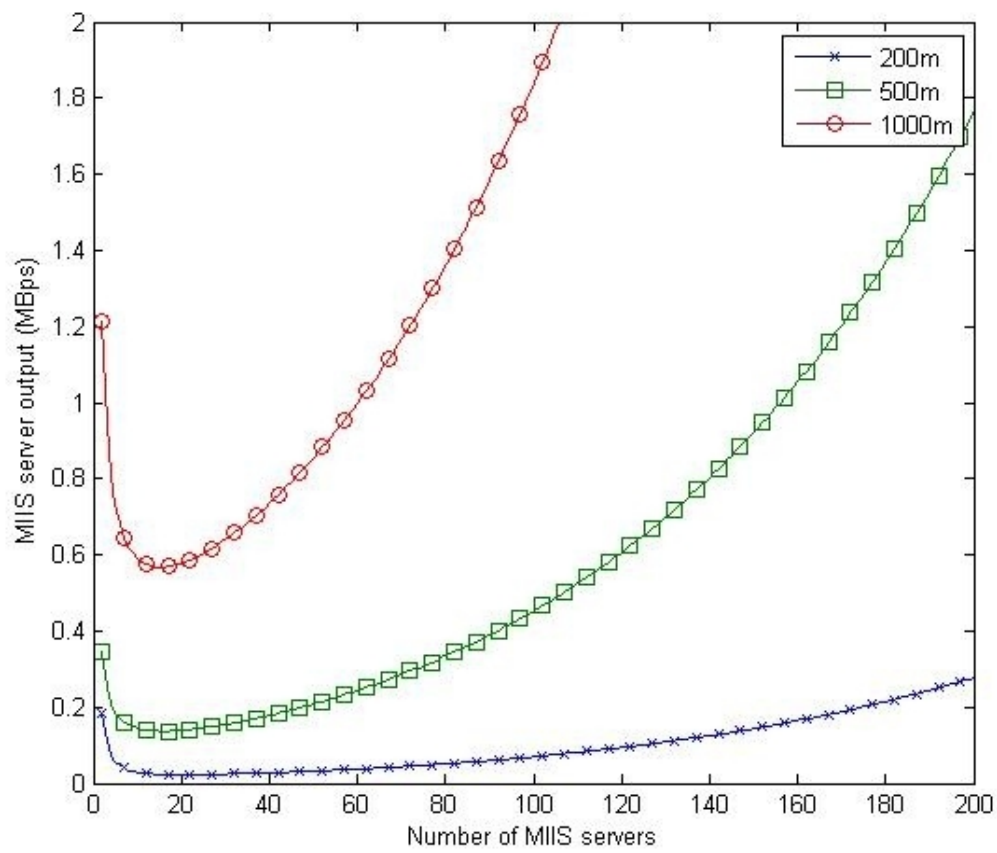


Figura 3.4: Sobrecarga de información respecto al número de servidores

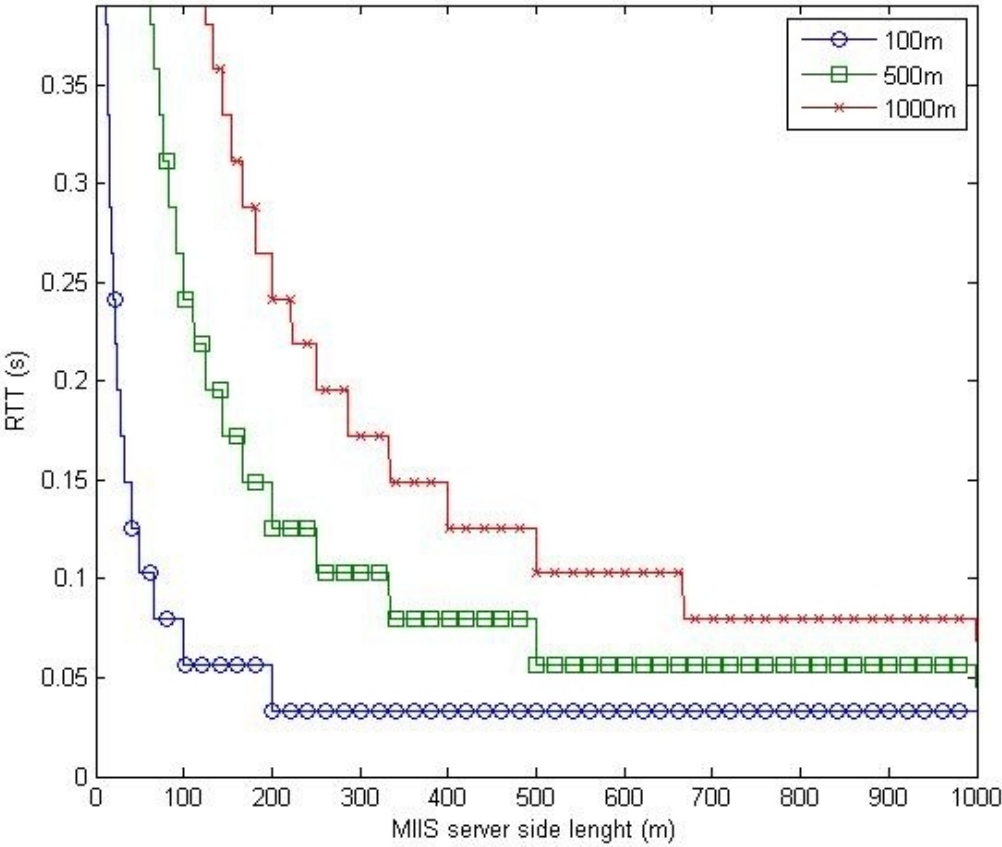


Figura 3.5: RTT respecto al área de los servidores

Capítulo 4

Conclusiones

SIDAM es un sistema que aúna las ideas de varios investigadores, junto con nuevas ideas, para formar un sistema de información para redes inalámbricas eficaz, eficiente, escalable, y robusto.

Con la presencia de la información dinámica en los diferentes servidores, y la constante actualización de ésta, otorgamos a los usuarios una mejor experiencia. Conociendo estado actual de los PoA, los usuarios pueden acceder a las redes que realmente cumplen sus expectativas. Por otro lado, al evitar que los usuarios busquen toda esta información, hace las transiciones mucho más rápidas.

El sistema presenta muchas mejoras frente a otros sistemas similares. Al eliminar la jerarquía, es capaz de tomar mejores valores en tiempo de respuesta. Si a eso le sumamos la fuerte mejora sobre el sistema centralizado en términos de escalabilidad, tenemos un sistema altamente eficiente.

La información de los servidores, se mantiene actualizada en todo momento, y está repetida en diferentes servidores. Además, se busca una alta consistencia en esta información. Con todo esto tenemos un sistema bastante tolerante a fallos, y fácilmente ampliable para aumentar esta tolerancia.

Por último, es un sistema fácilmente implantable. Los operadores tienen un amplio abanico de posibilidades de implantación, y las necesidades, a nivel de rendimiento, de los servidores no son excesivamente altas.

Capítulo 5

Trabajos Futuros

Este proyecto deja algunos detalles para próximos trabajos. Estos son algunos de los ejemplos.

Frente a los cambios de densidad, nos enfrentamos al problema de cómo gestionar las fronteras. Hay que crear un proceso de gestión de áreas en las fronteras, y de distribución de información en las fronteras que sea óptimo. Desde el aumento de vecinos en las fronteras, hasta restricciones en las áreas entre dos zonas de distinta densidad.

Por otro lado, se puede aumentar la robustez del sistema, permitiendo mayor solapamiento, o mayor distribución de los datos entre servidores. Por ejemplo, se puede permitir que la distribución llegue hasta un nivel de servidores no interesados, para pasar zonas en las que estén los servidores caídos.

También se pueden perfeccionar los algoritmos de distribución, para evitar la redundancia de mensajes.

De forma adicional, se pueden mejorar los algoritmos de recomendación del servidor MIIS. El sistema propone que en el mensaje de respuesta, se envíe como servidor MIIS actual aquel que ha procesado la petición. Aún así, el MN puede encontrarse cerca de la frontera con otro servidor MIIS, y puede ser recomendable que la siguiente petición pase a este otro. Entonces habría que definir varias zonas, o algoritmos que tengan en cuenta la dirección del movimiento del MN.

Para finalizar, podemos mejorar los algoritmos de enrutado para los mensajes de petición de información. Con un mejor sistema de enrutado, se puede conseguir un menor número de saltos, y evitar problemas con los servidores caídos.

Capítulo 6

Glosario

Área de efecto: localización geográfica sobre la que tiene información un IS.

Cambio de enlace: proceso por el que un MN intercambia de enlace, el cual es encargado de la conexión a la red. Esta operación implica el cambio del enlace del terminal remoto y por consiguiente, de PoA para el MN.

Capa de enlace: capa conceptual para el control o procesamiento lógico que es responsable del mantenimiento del control del enlace de datos. Las funciones de datos de la capa de enlace proveen una interfaz entre la capa lógica superior y la de enlace de datos.

Capas inferiores: son las capas localizadas en el modelo OSI como nivel 2 e inferiores a través de diferentes capas de enlace de las tecnología mencionadas en este proyecto. Por ejemplo, las capas inferiores de IEEE 802.21 son la subcapa MAC y la PHY. El término “Capas inferiores” además incluye las capas de control del enlace lógico (LLC). Por último, la entidad MIHF usa los servicios proveídos por estas capas.

Detección de red: es el proceso en el que un MN recolecta información de las redes de su localidad, identificando los PoA, comprobando la validación de la configuración de la capa de enlace.

Enlace: canal de comunicación sobre el cual los nodos se comunican para el intercambio de unidades de datos del protocolo(PDU) de la capa L2. Cada enlace está asociado con dos terminales y con un único identificador.

Entidad de red: nodo de comunicación dentro de la red.

Función MIH: entidad que realiza servicios MIH.

Handover: proceso por el cual un nodo móvil obtiene comodidades y conserva flujos de tráfico de datos cuando se produce un evento de cambio de red. Los mecanismos y protocolo de capas envueltos en el handover pueden variar con el tipo de evento de cambio de red. Mirar también: **Hard Handover**, **Soft Handover**, **Seamless Handover**.

Handover Horizontal: handover que realiza el nodo móvil cuando cambia de un punto de acceso a otro que pertenecen a la misma red. Por ejemplo, de una red inalámbrica local (WLAN) a otra (WLAN). Sinónimo: **Handover Intra-tecnología**.

Handover Inter-Tecnología: mirar **Handover Vertical**.

Handover Intra-Tecnología: mirar **Handover Horizontal**.

Handover Vertical: handover que realiza el MN cuando cambia de un PoA a otro

que pertenecen a distintas tecnología. Por ejemplo, de una red inalámbrica local (WLAN) a una red 3G.

Hard Handover: handover en el que las facilidades para soportar el flujo de tráfico están sujetas a completar la indisponibilidad entre su interrupción en el enlace de servicio y su restauración en el enlace de destino (break-before-make).

Información dinámica: serie de características de la conexión de un PoA, de carácter dinámico, relevantes para el handover (ocupación de recursos, ancho de banda disponible, etc /ldots). Se divide en PPI y MPI. Mirar **PoA Provided Information** y **Mobile node Provided Information**.

Información estadística: lista de SIT, que contienen una posición, momento y calidad de señal de un PoA, usada para prever la calidad de la señal en un punto y un momento concreto de ese PoA.

Información estática: serie de características tanto del PoA como de la red, las cuales van a permanecer iguales o representarán cambios mínimos.

MIH Users: entidades que usan los servicios proveídos por la entidad MIHF. Los MIH users utilizan el MIH_SAP para interactuar con la MIHF.

MN: nodo de móvil de comunicación que puede cambiar su punto de acceso de una red a otra.

Mobile node Provided Information (MPI): información dinámica suministrada por el MN a través de las peticiones de información. En este contexto, la MPI consiste en el conjunto de tuplas de información estadística (SIT).

Non-PoS MIH: entidad de red MIH que puede intercambiar directamente mensajes MIH con otras entidad de red MIH e indirectamente con cualquier MN MIH disponible.

PoA: Punto de acoplamiento en el que el nodo móvil puede ser conmutado a la red que esté vinculada dicho punto de acceso.

PoA candidato: posible punto de acoplamiento al que tiene acceso un nodo móvil cercano. PoA objetivo: PoA candidato que ha sido seleccionado para ser el PoA proveedor.

PoA Provided Information: información dinámica suministrada por el PoA que contiene todos los aspectos cambiantes del mismo.

Políticas de Handover: conjunto de reglas que contribuyen en el MN para la decisión de realizar un handover.

Protocolo de descubrimiento MIH: protocolo para descubrir entidades MIH.

Protocolo de transporte MIH: protocolo para transportar mensajes MIH entre un par de entidades MIH.

Punto de Servicio MIH (MIH PoS): instancia de red del lado de la entidad MIHF que intercambia mensajes MIH con un entidad MIHF dentro del MN. La misma entidad de red MIH incluye un PoS MIH por cada MN con el que intercambia mensajes MIH. Un único PoS MIH puede contener más de un servicio MIH. La misma entidad de red MIH puede incluir múltiples PoS MIH que proveen diferentes combinaciones de servicios MIH a los respectivos MN que están basados en suscripciones ó condiciones de roaming. Hay que

anotar que una entidad de red comprende múltiples interfaces, la noción de un PoS MIH está asociada con entidad de red así misma y no solamente con una de sus interfaces.

Red Proveedora: red que proporciona servicios al usuario.

Seamless Handover: handover asociado con un cambio entre PoAs, donde el MN no experimenta degradación en la calidad del servicio, en seguridad, capacidades. Puede experimentar algún deterioro en los parámetros de servicio que sea mutuamente aceptable para el abonado del móvil y la red en cuanto esté recién conectado.

Selector de red: entidad que comprende las decisiones de seleccionar una red que conduce hacia un handover.

Servidor MIIS: servidor que contiene información relacionada con el procedimiento de handover. Es el responsable de proporcionar información al MN con el objetivo de éste realice el mejor handover posible.

Servidor MIIS actual: servidor MIIS del que el MN recibió por última vez información, y que será al próximo que solicite la petición de información. En caso de no haber ninguno, se utilizará el IS asociado del PoA al que se conecta.

Servidor MIIS asociado: servidor MIIS con el que se comunica directamente un PoA.

Servidor MIIS vecino: relación entre dos servidores MIIS tal que IS1 es vecino de IS2 si están conectados directamente, y sus áreas de efecto se solapan.

SI: servicio de información independiente del medio el cual provee un framework y los correspondientes mecanismos por los que una entidad MIHF puede descubrir y obtener información de las redes existentes dentro de un área geográfica.

SILL: conjunto de tuplas de información estadística que tiene como finalidad calcular la calidad media de un PoA en un punto y momento determinado. Esta lista se actualiza con la correspondiente distribución de la SISL entre ISs vecinos.

SISL: conjunto de tuplas de información estadística que se van actualizando en cada servidor MIIS a la llegada de peticiones de información. Cada SISL es distribuida entre servidores MIIS vecinos cuando se sobrepasa una cantidad máxima de SIT.

Soft Handover: handover en el que las facilidades para soportar el flujo de tráfico están continuamente disponible mientras que la conexión de la capa de enlace del MN transfiere información entre el PoA actual y el PoA destino. La red permite facilidades de transporte para el PoA objetivo antes de la aparición del evento de conmutación o cambio del enlace (make-before-break).

Statistical Information Tuple: La tupla de información estadística está contenida “a caballito” en el mensaje de petición de información proveniente del MN (MIH_Get_Information_MN). La tupla está formada por la localización actual del MN, la calidad medida en este punto y el momento actual.

Transacción MIHF: combinación de mensajes MIH Request y Response, MIH Indication, o mensajes MIH Response y cualquier mensaje de reconocimiento (ACK) asociado al MIH.

WLAN: red inalámbrica de área local perteneciente al IEEE que en el contexto de nuestro proyecto hace referencia a 802.11 (Wi-Fi) y 802.16 (Wi-Max).

Referencias

- [1] IEEE 802.21 WG, “IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks. Part 21: Media Independent Handover Services”, *IEEE Std 802.21-2008*, January 2009.
- [2] A. De La Oliva, A.Banchs, I.Soto, T. Melia, A.Vidal, “An overview of IEEE 802.21: media-independent handover services”, *IEEE Wireless Communications*, Vol. 15, No.4, pp. 96-103, August 2008.
- [3] G. Lampropoulos, A. K. Salkintzis, N. Passas, “Media-independent handover for seamless service provision in heterogeneous networks”, *IEEE Communications Magazine*, Vol. 46, No. 1, pp. 64-71, January 2008.
- [4] A. Pontes, D. dos Passos Silva, J. Jailton, O. Rodrigues, K. L. Dias, “Handover management in integrated WLAN and mobile WiMAX networks”, *IEEE Wireless Communications*, Vol. 15, No. 5, pp. 86-95, October 2008.
- [5] K. Taniuchi, Y. Ohba, S.Das, M. Tauil, Y-H. Chang, A.Dutta, D. Baker, M. Yajnik, and D. Famolari, “IEEE 802.21: Media Independent Handover: Features, Applicability, Realization”, *IEEE Communciation Magazine*, Vol.47, No.1, pp.112-120, January 2009.
- [6] G. Lampropoulos, C. Skianis, and P. Neves, “Optimized fusion of heterogeneous wireless networks based on media-independent handover operations”, *IEEE Wireless Communications*, Vol.17, No.4, pp.78-87, August 2010.
- [7] Q. Mussabbir, W. Yao, Z. Niu, and X. Fu, “Optimized FMIPv6 Using IEEE 802.21 MIH Services in Vehicular Networks”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, pp. 3397-3407, November 2007.
- [8] W-S. Lim, D-W. Kim, Y-J. Suh, and Jeong-Jae. Won, “Implementation and performance study of IEEE 802.21 in integrated IEEE 802.11/802.16e networks”, *Computer Communications*, Vol. 32, Issue 1, pp.134-143, 23 January 2009.
- [9] J. Floroiu, M. Corici, B-J. Lee, S. Lee, S. Arbanowski, and T. Magedanz, “A Vertical Handover Architecture for End-to-End Service Optimization”, *16th IST Mobile and Wireless Communications Summit*, July 2007.
- [10] S-J. Yoo, D. Cypher, and N. Golmie, “Timely Effective Handover Mechanism in Heterogeneous Wireless Networks”, *Proceedings of the Springer Wireless Personal Communications*, 2008.
- [11] C. Christakos, A. Izquierdo, R. Rouil, and N. Golmie, “Using the Media Independent Information Service to Support Mobile Authentication in Fast Mobile IPv6”, *Wireless Communications and Networking Conference, WCNC*, March 2009.

- [12] P. Neves, J. Soares, S. Sargento, H. Pires, F. Pontes, “Context-aware media independent information server for optimized seamless handover procedures”, *Computer Networks*, Vol. 55 No. 7, pp. 1498-1519, 2011.
- [13] Y. Kim, S. Pack, C. Kang, S. Park, “An enhanced information server for seamless vertical handover in IEEE 802.21 MIH networks”, *Computer Networks*, Vol. 55, No. 1, pp. 147-158, 2011.
- [14] F. Buiati, L. J. García Villalba, D. Corujo, J. Soares, S. Sargento, R. L. Aguiar, “Hierarchical Neighbor Discovery Scheme for Handover Optimization”, *IEEE Communications Letters*, Vol. 14, No. 11, pp. 1020-1022, November 2010.
- [15] K. De Vogeleer, C. Ickin, D. Erman, “A decentralized Information Service for IEEE 802.21 - Media Independent Handover (MIH)”, *IEEE Groups*, 2011.

Apéndices

Apéndices A

Artículo de Computer Networks

En base a este proyecto se ha escrito un artículo para la revista Computer Networks: “DISMA - Dynamic IEEE 802.21 Information Server Mesh Architecture for Heterogeneous Networks”.

A fecha de publicación de este proyecto, el artículo se encuentra pendiente de aceptación.

Apéndices B

Artículo de URSI

En base a este proyecto se ha preparado un artículo para el XXVII Symposium Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (del 12 al 14 de Septiembre de 2012): “SIDAM - Servidor de Información IEEE 802.21 Dinámico con Arquitectura de Malla para redes heterogéneas”.

A fecha de 4 de Junio de 2012, el artículo ha sido aceptado para su exposición en el Symposium.

Apéndices C

Protocolo de Paso de Mensajes en la Malla

C.1. Registro del PoA

- Nombre:
 - `mih_poa_to_is_reg_poa_ind`
- Descripción:
 - El mensaje envía la información relevante del PoA (información estática de la red y del PoA) para su registro en el servidor MIIS. Este mensaje es recibido por uno de los servidores MIIS, y comienza el proceso de registro en el sistema.
- Emisor/receptor:
 - Desde el PoA un servidor MIIS, el cual se convertirá en su servidor MIIS asociado.
- Generación:
 - Se genera cuando un PoA se quiere registrar por primera vez en el sistema.
- Contenido:
 - Información de la red, sin incluir la lista de PoA.
 - Información del PoA, sin incluir información estadística.
- Periodicidad:
 - Se genera una única vez por PoA para hacer el primer registro en la base de datos del sistema.

C.2. Distribución del registro del PoA

- Nombre:
 - `mih_is_to_is_prop_reg_poa_ind`
- Descripción:

- Tras el registro de un PoA en un servidor MIIS, éste debe distribuir esta información al resto de servidores para mantener la coherencia de datos. Para hacer esto utiliza este mensaje, mandando la información relevante del PoA (información estática de la red y del PoA) a los servidores MIIS vecinos.
- Aclaraciones:
 - Protocolo para la decisión de distribución del registro:
 - Sólo se distribuirá el mensaje, en caso de que realmente se haya ejecutado el registro (que el PoA no existiera antes en la base de datos).
 - Sólo se distribuirá el mensaje a los servidores MIIS vecinos en cuyo área se encuentre parte de la cobertura del PoA.
- Emisor/receptor:
 - Desde un servidor MIIS a otro servidor MIIS vecino-
- Generación:
 - Se genera tras la recepción de un mensaje de registro, o de distribución de registro, siempre y cuando haya generado nueva información en la base de datos del servidor MIIS.
 - Caso especial en cambios de la cobertura del PoA. Ver “Distribución de actualización dinámica y estática del PoA”.
- Contenido:
 - Información de la red, sin incluir la lista de PoA.
 - Información del PoA, sin información dinámica.
- Periodicidad:
 - Se envía un máximo de 4 veces (una por cada servidor MIIS vecino) por cada servidor MIIS y cada PoA.

C.3. Actualización por parte del PoA

- Nombre:
 - `mih_poa_to_is_update_poa_ind`
- Descripción:
 - El PoA informará periódicamente sobre sus cambios dinámicos (ocupación, etc ...), o cambios estáticos. También se adjuntará un identificador de orden, para conocer qué cambios son posteriores y cuáles son previos (usado más tarde en la actualización).
- Emisor/receptor:
 - Desde un PoA a su servidor MIIS asociado.
- Generación:

- Se genera a discreción del PoA. En lo siguiente se considerará periódica.
- Contenido:
 - Información del PoA, salvo información estadística.
 - Identificador de orden de los cambios. A partir de ahora supondremos momento de envío según el PoA.
- Periodicidad:
 - Se genera periódicamente.

C.4. Distribución de actualización dinámica y estática del PoA

- Nombre:
 - `mih_is_to_is_prop-upd_poa_ind`
- Descripción:
 - Siguiendo el protocolo, tras una actualización de la información del PoA en un servidor MIIS, se distribuye ésta información para mantener la coherencia de datos.
 - Se distribuyen tan sólo los cambios relevantes, según el protocolo de distribución.
- Aclaraciones:
 - Protocolo de actualización:
 - En caso de recibir una actualización desde el PoA:
 - ◊ Se definirán unos rangos sobre cada información dinámica.
 - ◊ Si existen cambios en algún campo de información dinámica, que excedan estos rangos, ese campo se marca para su distribución.
 - ◊ Todos los campos de información estática en los que haya algún cambio, y los campos de información dinámica marcados, son modificados en la copia local, y se distribuyen.
 - En caso de recibir una actualización desde otro servidor MIIS:
 - ◊ Se comprobará el orden de ésta actualización, sobre todos los campos.
 - ◊ Se actualizarán en la copia local los campos con un orden menor a los del mensaje.
 - ◊ Se distribuirá el mismo mensaje recibido siguiendo el protocolo de distribución.
 - Protocolo de distribución:
 - Sólo se distribuye en caso de haber hecho alguna actualización dentro de la base de datos.
 - Sólo se distribuye a los servidores MIIS vecinos en cuyo área antigua (previa a la actualización) tenga cobertura el PoA.

- En caso de que tras un cambio en la cobertura, ésta cubra el área de un IS que antes no cubría, no se distribuirá este mensaje, pero se enviará un mensaje de “distribución de registro de PoA” para crear el PoA en este IS, y un mensaje de “distribución de SILL” para actualizar su SILL.
- Emisor/receptor:
 - De un servidor MIIS a un servidor MIIS vecino.
- Generación:
 - Se genera después de la recepción de un mensaje de actualización por parte del PoA, o de distribución de actualización de información dinámica y estática del PoA, siguiendo el protocolo de actualización.
- Contenido:
 - Identificador del PoA.
 - Lista de campos modificados.
 - Identificador de campo.
 - Nuevo valor.
 - Identificador de orden.
- Periodicidad:
 - Se genera un máximo de 4 veces (una por cada IS vecino), cada vez que recibe un mensaje de distribución de actualización de información dinámica y estática del PoA, o de actualización por parte del PoA. Ésta periodicidad va a ser mucho menor, debido a que el protocolo impedirá la creación de muchos de ellos.

C.5. Actualización por parte del MN

- Nombre:
 - `add_situple`
- Descripción:
 - El MN envía una SIT al servidor MIIS actual, con el dato de su posición, tiempo, y calidad de la señal del PoA en el que está conectado. Este servidor MIIS lo guardará en la SISL.
 - Este mensaje queda “a caballito” con el mensaje de petición de información.
- Emisor/receptor:
 - De un MN a su servidor MIIS actual
- Generación:
 - A discreción del MN.
- Contenido:
 - Identificador del PoA

- Una SIT correspondiente al MN
- Periodicidad:
 - A discreción del MN (Fijada por el servidor MIIS actual)

C.6. Distribución de SISL

- Nombre:
 - `mih_is.to_is_distribute_sisl.ind`
- Descripción:
 - El servidor MIIS distribuye su SISL de un PoA al resto de los servidores MIIS para que actualicen su SILL.
 - Sólo se distribuirá si tenemos que migrar la SISL a la SILL.
 - Esta distribución sigue el protocolo de distribución ya mencionado.
- Aclaraciones:
 - Protocolo de migración de SISL a SILL
 - Tras un mensaje de “Actualización por parte del MN”
 - ◊ Cuando la SISL se llene, ésta ha de ser migrada a la SILL.
 - ◊ Se incluirán los datos de la SISL a la SILL, se ordenarán según la fecha, y se eliminarán los más viejos.
 - ◊ La SILL tendrá un máximo (efectivo) de N datos, y no se borrarán los más viejos, hasta que se haya llenado, y una vez llena sólo se borrarán hasta volver a tener N.
 - ◊ Se distribuye la SISL y se vacía.
 - Tras un mensaje de “Distribución de SISL”
 - ◊ Se comprueba el identificador de orden del servidor MIIS que ha empezado a distribuir la SISL.
 - ◊ Si tenemos un identificador de orden sobre ese servidor MIIS, si el orden local es menor que el del mensaje, migramos y distribuimos.
 - ◊ Si no tenemos el identificador de orden sobre ese servidor MIIS, lo añadimos, migramos y distribuimos.
 - Protocolo de distribución de SISL
 - Sólo se distribuirá la SISL cuando ocurra una migración
 - Sólo se distribuirá el mensaje a los servidores MIIS vecinos en cuyo área se encuentre parte de la cobertura del PoA.
- Emisor/receptor:
 - De un servidor MIIS a un servidor MIIS vecino.
- Generación:
 - Cada vez que se llena la SISL.

- Cada vez que se recibe un mensaje de distribución de SISL (según el protocolo de distribución).
- Contenido:
 - Identificador del servidor MIIS
 - Identificador de orden (usaremos el tiempo local del servidor MIIS)
 - Identificador del PoA
 - Una SISL proveniente del servidor MIIS que empezó la distribución.
- Periodicidad:
 - Se generarán un máximo de 4 veces (una por cada servidor MIIS vecino) cada N mensajes de add_tuple (siendo N el tamaño de máximo de la SISL)
 - Se generarán un máximo de 4 veces (una por cada servidor MIIS vecino) tras la recepción de un mensaje de “distribución de SISL” y su posterior paso por el protocolo de distribución.

C.7. Distribución de SILL

- Nombre:
 - mih_is_to_is_distribute_sill_ind
- Descripción:
 - Distribuye la SILL completa.
- Emisor/receptor:
 - De un servidor MIIS a un servidor MIIS vecino.
- Generación:
 - Caso especial al actualizar la información de cobertura del PoA. Ver “Distribución de actualización dinámica y estática del PoA”
 - Tras la recepción de un mensaje de “Distribución de SILL”
- Contenido:
 - Identificador del PoA
 - SILL proveniente del servidor MIIS que empezó la distribución
- Periodicidad:
 - Muy rara vez.
 - Cuando cambie la información estática de la cobertura del PoA.

C.8. Petición de información

- Nombre:
 - `mih_get_information_mn_req`
- Descripción:
 - Mensaje que se envía desde el MN al sistema para pedir información de los puntos de acceso disponibles. El MN lo envía al servidor MIIS actual. Si este servidor MIIS no gestiona el punto donde se encuentra el MN, se inicia un proceso de búsqueda sobre el resto de los servidores MIIS.
 - Llevará un mensaje de “Actualización por parte del MN” “a caballito”.
- Aclaraciones:
 - Protocolo de búsqueda:
 - En caso de no estar el MN en su zona, se enviará un único mensaje de petición de información al servidor MIIS cuyo área esté más cerca del punto en el que se encuentra el MN.
 - A partir de este momento, este servidor MIIS se desentiende de la petición.
- Emisor/receptor:
 - De un MN a un servidor MIIS.
 - De servidor MIIS a otro servidor MIIS vecino.
- Generación:
 - Periódicamente por parte del MN.
 - El servidor MIIS sólo lo genera en caso de no gestionar la zona en la que se encuentra el MN.
- Contenido:
 - Petición
 - Posición actual
 - Tiempo actual
 - Calidad actual
 - Identificador del PoA en el que está conectado el MN
- Periodicidad:
 - Configurable por el usuario.
 - Rara vez por parte del servidor MIIS.

C.9. Entrega de información

- Nombre:
 - `mih_get_information_mn_rsp`
- Descripción:
 - Devuelve la información requerida por un mensaje de “Petición de información”.
 - También devuelve el identificador del servidor MIIS actual.
- Aclaraciones
 - El IS actual podrá ser tanto en el que realmente se ha conseguido la información, como el que éste servidor considere mejor.
- Emisor/receptor:
 - De un servidor MIIS a un MN.
- Generación:
 - Tras la llegada de un mensaje de “Petición de información”, y encontrarse el MN dentro del área de efecto del servidor MIIS.
- Contenido:
 - Lista de PoA
 - Información estática
 - Información dinámica
 - Calidad de la señal (según información estadística)
 - Identificador del PoA actual (para actualización en el MN)
- Periodicidad:
 - Periódica (tras la recepción de cada “Petición de información”).

El flujo de todos los mensajes descritos en este apéndice se recoge en la Fig. C.1.

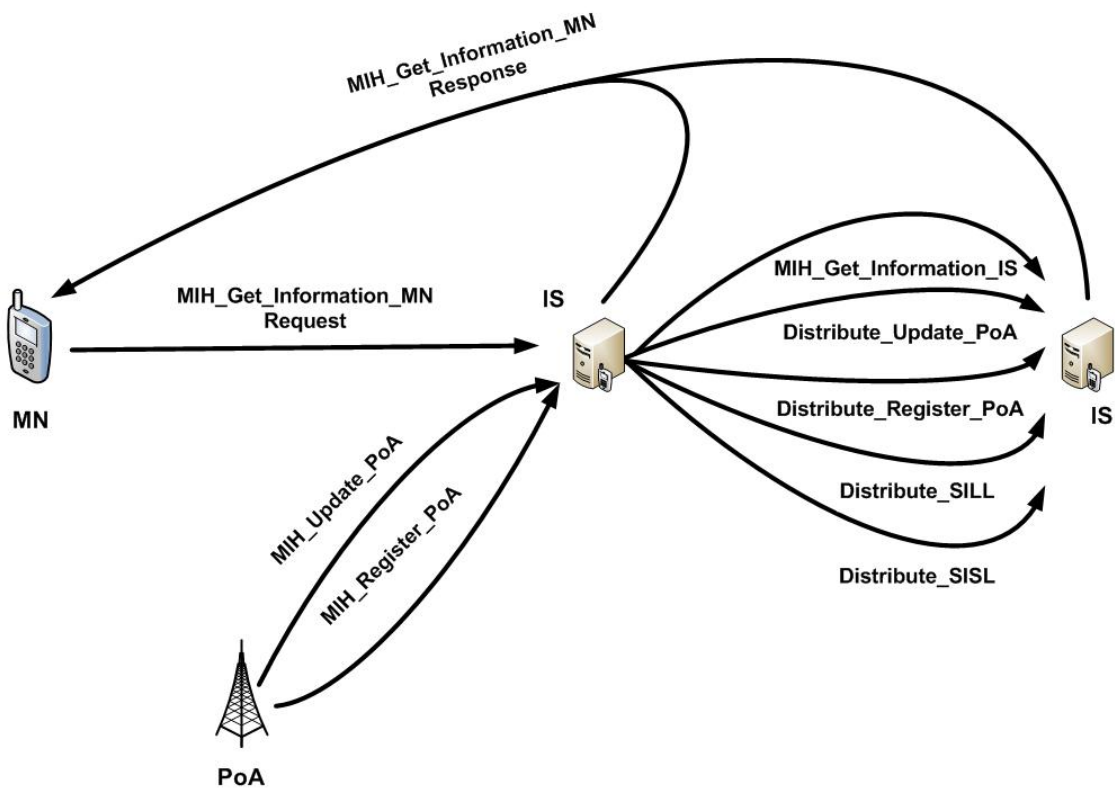


Figura C.1: Flujo de mensajes entre las distintas entidades

Apéndices D

Modelos matemáticos

D.1. Modelo de Flujo de Información en el servidor MIIS

Para el análisis de la sobrecarga dentro de los servidores MIIS, tenemos que ver que al servidor MIIS le llegan datos desde tres fuentes distintas: otros servidores MIIS, los MN, y los POA. Por tanto, tenemos que saber cuánto es el valor de la salida en función de la entrada, para ver cuánto es capaz el servidor MIIS de procesar. Sean fii , fni y fpi los flujos de datos desde otros servidor MIIS, los MN, y los POA respectivamente:

$$(D.1) \quad \text{Entrada} = fiiIn + fniIn + fpiIn$$

$$(D.2) \quad \text{Salida} = fiiOut + fniOut + fpiOut$$

Ahora tenemos que ver qué valores tiene la salida en función de la entrada.

- fii : En este caso tenemos tres tipos de mensajes significativos: las peticiones de información de otro servidor MIIS, la distribución de actualizaciones de información dinámica del PoA, y la distribución de listas. Obviamos el registro de PoA por su poca frecuencia en la red. La cantidad de mensajes de petición de información viene dado por el flujo de entrada desde los nodos ($fniIn$) y la tasa de aciertos del sistema (Ta). Suponemos que la distribución será uniforme entre todos los servidores MIIS. Este mensaje crecerá en función de la razón entre los tamaños de los mensajes. Supongamos $Spgi$ el tamaño medio de la petición de información, y $Srgi$ el tamaño medio de la respuesta, el factor de crecimiento sería ($Srgi/Spgi$). Si suponemos que ante fallo, lo más habitual es dar un solo salto, podemos despreciar los casos en los que se dan más saltos. En definitiva, tendríamos que:

$$(D.3) \quad fiiInGI = 4 * \frac{fniIn * (1 - Ta)}{4} = fniIn * (1 - Ta)$$

$$(D.4) \quad fiiOutGI = fiiInGI * \frac{Srgi}{Spgi}$$

La cantidad de mensajes de actualización viene dado por el flujo de entrada desde los POA ($fpiIn$) y la tasa de actualización (Tu). Todos los servidores MIIS cercanos van a distribuir la información, y el sistema tendrá que enviarlo a todos los adyacentes menos al que lo envió. A parte, también le enviarán la información que ellos reciban desde otros servidores MIIS. Para representar esto tomamos el número de

servidores que cubriría el área un PoA de radio R, como media de mensajes que se van a recibir. Primero tenemos que ver a qué nivel de distribución se encuentra el sistema. Suponemos la variable Nivel como el número de servidores MIIS a lo largo de un lado del área total. Con esto podemos calcular el lado del área del servidor MIIS. Por último, tenemos que ver en cuántos servidores tiene presencia un PoA.

$$(D.5) \quad Nivel = \frac{1 + \sqrt{1 + 2 * (IS - 1)}}{2}$$

$$(D.6) \quad ladoIS = \frac{ladoarea}{Nivel}$$

$$(D.7) \quad NivelPoA = \max(\frac{radio * 2}{ladoIS}, 1)$$

$$(D.8) \quad Media = Nivel^2 + (NivelPoA - 1)^2$$

Con este valor calculado, podemos obtener el flujo desde los PoA.

$$(D.9) \quad fiiInP = (Media - 1) * fpiIn * Tu;$$

$$(D.10) \quad fiiOutP = 3 * fiiInP;$$

La cantidad de mensajes de actualización de lista, viene dado por el número de mensajes recibidos desde los nodos móviles en los servidores MIIS circundantes. Para representar esto también usaremos el valor Media. Sea Sl el tamaño de la lista corta y Sml el tamaño del mensaje de lista:

$$(D.11) \quad fiiInL = (Media - 1) * \frac{\frac{fniIn}{Smpi}}{Sl} * Sml;$$

$$(D.12) \quad fiiOutL = 3 * fiiInL;$$

- fni: El flujo de entrada de los nodos viene dado por el número de nodos, el tiempo entre actualizaciones, y el tamaño del mensaje:

$$(D.13) \quad fniIn = \frac{Nn}{tn} * Spgi$$

El flujo de salida depende de la tasa de acierto. Si acierta, ha de devolver el mensaje de respuesta. Si no, ha de enviar el mismo mensaje. A parte, ha de enviar las listas, cuando se llegue al número de mensajes recibidos necesarios. Por tanto:

$$(D.14) \quad fniOut = fniIn * Ta * \frac{Srgi}{Spgi} + fniIn * (1 - Ta) + \frac{\frac{fniIn}{Smpi}}{Sl} * Sml$$

- fpi: El flujo de entrada de los nodos viene dado por el número de POA, el tiempo entre actualizaciones, y el tamaño del mensaje (Smu):

$$(D.15) \quad fpiIn = \frac{Np}{tp} * Smu$$

El de salida, depende de la tasa de actualización.

$$(D.16) \quad fpiOut = Tu * fpiIn$$

D.2. Modelo para el RTT

Retardo: Tiempo que transcurre entre que un bit sale del emisor, y llega al receptor (en s.) El retardo está condicionado por los siguientes valores:

- Longitud del lado de los IS (La función ya haya el valor de la diagonal, que es la verdadera longitud del cable) (en m.)
- Factor de velocidad. Se refiere a qué factor de la velocidad de la luz se mueve un bit a través del cable. Tenemos que en general, en un cable de cobre, va de 0.59 a 0.77.
- Factor de distancia. Suponemos que el cable va a ser siempre más grande que la distancia teóricas. Para representar este fenómeno, ajustamos este valor.

Propagación: Tiempo que transcurre entre que el primer bit sale del emisor, y el último bit llega al receptor (en s.). La propagación depende de:

- El retardo (en s.)
- El tamaño del paquete (en kB.)
- La velocidad de transmisión (en bps.)

Latencia: Tiempo que transcurre entre que un paquete es enviado, y ese mismo paquete vuelve (en s.). La latencia depende de:

- La propagación (en s.)
- El radio del punto de acceso (en m.)
- El tiempo de proceso. Es el tiempo que necesita el sistema para procesar el paquete en el receptor.
- El tiempo de reenvío. Es el tiempo que necesita un nodo intermedio para seguir enrutando el paquete.
- La longitud del lado de los IS.

Fórmulas:

$$(D.17) \quad Diagonal = \frac{distancia}{2} * \sqrt{2}$$

$$(D.18) \quad LongitudDelCable = Diagonal * FactorDeDistancia$$

$$(D.19) \quad Velocidad = FactorDeVelocidad * VelocidadDeLaLuz$$

$$(D.20) \quad Retardo = \frac{LongitudDelCable}{Velocidad}$$

$$(D.21) \quad Transmision = \frac{TamanoDelPaquete * 8}{VelocidadDeTransmision}$$

$$(D.22) \quad Propagacion = Retardo + Transmision$$

$$(D.23) \quad Numerodesaltos = \frac{radio_{poa}}{\frac{distancia}{2}} * 2$$

$$(D.24) \quad Latencia = (Propagacion + TiempoDeReenvio) * saltos * 2 + tProceso$$

D.3. Modelo de periodos para petición de información

Para este modelado usamos una función de distribución de probabilidad de Weibull. Esta distribución tiene la forma:

$$(D.25) \quad F(x, k, \lambda) = 1 - e^{-\frac{x^k}{\lambda}}$$

Tras varias pruebas, se han elegido para esta representación, los valores:

$$(D.26) \quad \lambda = 0.5$$

$$(D.27) \quad k = 3$$

Al modelo también se le facilita el límite de tiempo cuando el sistema está sobrecargado al 100

$$(D.28) \quad periodoMinimo = limiteSobrecarga * Weibull(Sobrecarga)$$

También se le facilita al modelo la velocidad del móvil, y el radio que ha de recorrer para que sea recomendable mandar otra petición de información. También se le incluye el periodo máximo que puede tener, para móviles que se muevan muy lentos, o estén quietos. De esta manera, podemos ajustar los valores para que pida información siempre que recorra una distancia Radio, siempre y cuando no esté limitado.

$$(D.29) \quad \begin{aligned} & velocidadMinima = \frac{radio}{periodoMaximo} \\ & si(velocidad < velocidadMinima) entonces \\ & \quad periodo = max(periodoMinimo, velocidadMinima) \\ & sino \\ & \quad periodo = max(\frac{radio}{velocidad}, periodoMinimo) \end{aligned}$$

Apéndices E

Gestión del Proyecto

A continuación se muestran varios detalles sobre la gestión de este proyecto desde el punto de vista de la Ingeniería del Software.

Se detallan los siguientes aspectos:

1. Diagrama de clases.
2. Comunicación entre entidades.
3. Riesgos.
4. Casos de uso.
5. Planificación del proyecto.
6. Seguimiento y Control

E.1. Diagrama de clases

En el contexto de las entidades que forman parte de nuestro framework, existen 2 capas por entidad.

La primera capa es la de MIH User asociada a la entidad correspondiente. En la tabla E.1 se muestra la relación entre las entidades y sus capas MIH User asociadas.

Tabla E.1: Relación entre entidades y capas MIH User

Entidad	Clase MIH User
MN	HandoverMN
PoA	HandoverPoA
Servidor MIIS (IS)	ISAgent

La segunda capa es la de MIH Function (MIHF), esta capa es la responsable de establecer la comunicación con otras entidades MIH remotas. La clase asociada a esta capa se denomina MIHAgent.

Adicionalmente, existe una clase auxiliar llamada MIHIS que representa a la base de datos de cada servidor MIIS.

La relación entre las clases que constituyen el nuevo framework para la simulación está representada en la Fig.E.1.

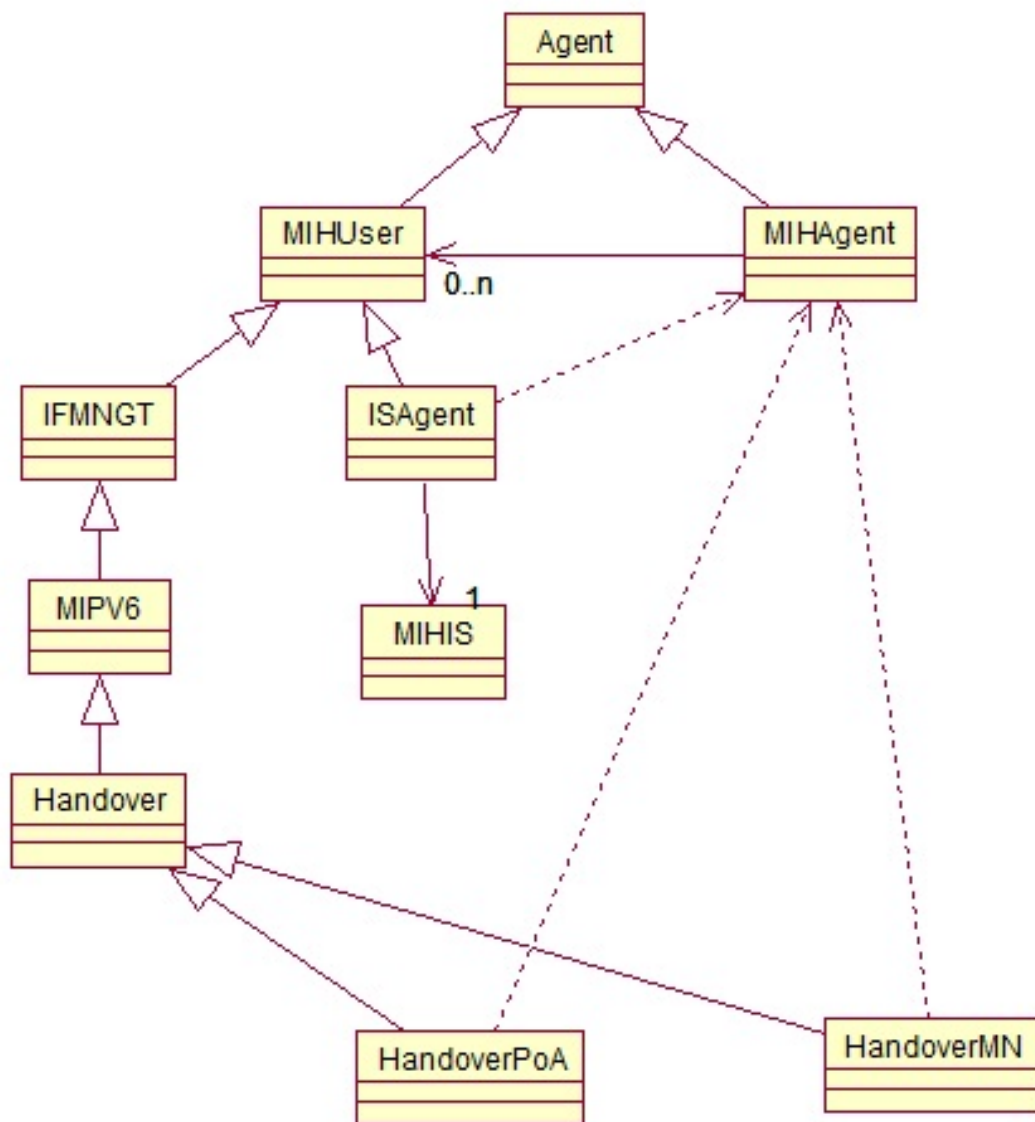


Figura E.1: Diagrama de clases del SIDAM

E.2. Comunicación entre entidades

La comunicación entre las clases está detallada en varios diagramas de transición. El interfaz de llamadas entre entidades MIH está constituido por los siguientes mensajes:

send_request: mensaje que se emite desde la entidad MIH que realiza la petición de información a otra entidad MIH remota. Este mensaje espera un mensaje de respuesta, por ello viene configurado con un temporizador.

send_response: mensaje de respuesta que una entidad MIH le hace llegar a otra entidad MIH remota que anteriormente ha enviado un mensaje de *send_request* a la anterior entidad.

send_indication: mensaje de envío de información entre dos entidades MIH remotas que no espera respuesta asociada. Éste último mensaje es el más utilizado para nuestra ampliación del framework MIH. Esto es debido a que la mayoría de mensajes no esperan respuesta asociada al envío de información entre entidades, excepto el mensaje de petición de información (*Get_Information_MN*).

Para cada mensaje de *send_(request/response/indication)* entre entidades MIH remotas, existe un método *recv* (*receive*) asociado en la entidad MIH destino, donde se procesa la petición de la entidad MIH origen.

A continuación se detallan cada uno de los diagramas de secuencia que representan la comunicación entre las entidades del framework. No se ha especificado un diagrama para el *handover* optimizado debido a que utiliza los mensajes del framework original exceptuando la fase de búsqueda de PoA candidatos, que en este caso es la fase más ineficiente. Tampoco se detalla una fase para la distribución de la SILL, ya que además de ser análoga a la de distribución SISL, se usa con muy poca frecuencia.

E.2.1. MIH_Get_Information

En este flujo de ejecución, se comunican las entidades correspondientes al MN, al PoA y al servidor MIIS asociado al PoA. Esta comunicación entre entidades hace referencia al caso de uso “Petición de información” detallado en el punto E.4.3. También se corresponde con los mensajes “Petición de Información” y “Entrega de Información” detallados previamente en el apéndice Paso de Mensajes, en los puntos C.8 y C.9 respectivamente. El diagrama de flujo se muestra en la Fig. E.2.

E.2.2. MIH_Register_PoA

En este flujo de ejecución se comunican las entidades correspondientes al PoA y al servidor MIIS asociado al PoA. Esta comunicación entre entidades hace referencia al caso de uso “Registro y Actualización PoA” detallado en el punto E.4.1. También se corresponde con el mensaje “Registro PoA” mencionado previamente en el apéndice Paso de Mensajes en el punto C.1. El diagrama de flujo se muestra en la Fig. E.3.

E.2.3. MIH_Update_PoA

En este flujo de ejecución se comunican las entidades correspondientes al PoA y al servidor MIIS asociado al PoA. Esta comunicación entre entidades hace referencia al caso de uso “Registro y Actualización PoA” detallado en el punto E.4.1. También se corresponde con el mensaje “Actualización PoA” detallado previamente en el apéndice Paso de Mensajes en el punto C.3. El diagrama de flujo se muestra en la Fig. E.4.

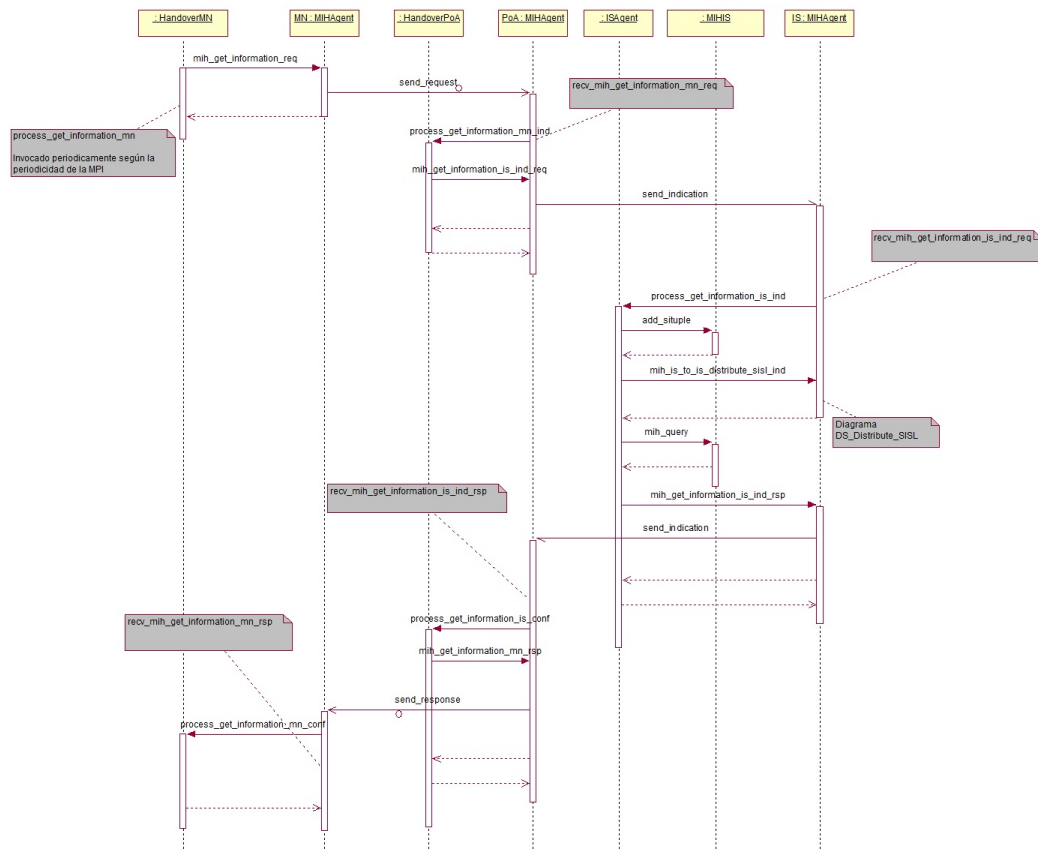


Figura E.2: Flujo MIH_Get_Information_MN

E.2.4. MIH_Prop_Reg_PoA

En este flujo de ejecución se comunican las entidades correspondientes al servidor MIIS origen que distribuye el registro del PoA y al servidor MIIS destino que recibe esta información de registro. Esta comunicación entre entidades hace referencia al caso de uso “Registro y Actualización PoA” detallado en el punto E.4.1. También se corresponde con el mensaje “Distribución Registro PoA” detallado previamente en el apéndice Paso de Mensajes en el punto C.2. El diagrama de flujo se muestra en la Fig. E.5.

E.2.5. MIH_Prop_Upd_PoA

En este flujo de ejecución se comunican las entidades correspondientes al servidor MIIS origen que distribuye la actualización del PoA y al servidor MIIS destino que recibe esta información de actualización. Esta comunicación entre entidades hace referencia al caso de uso “Registro y Actualización PoA” detallado en el punto E.4.1. También se corresponde con el mensaje “Distribución Actualización PoA” detallado previamente en el apéndice Paso de Mensajes en el punto C.4. El diagrama de flujo se muestra en la Fig. E.6.

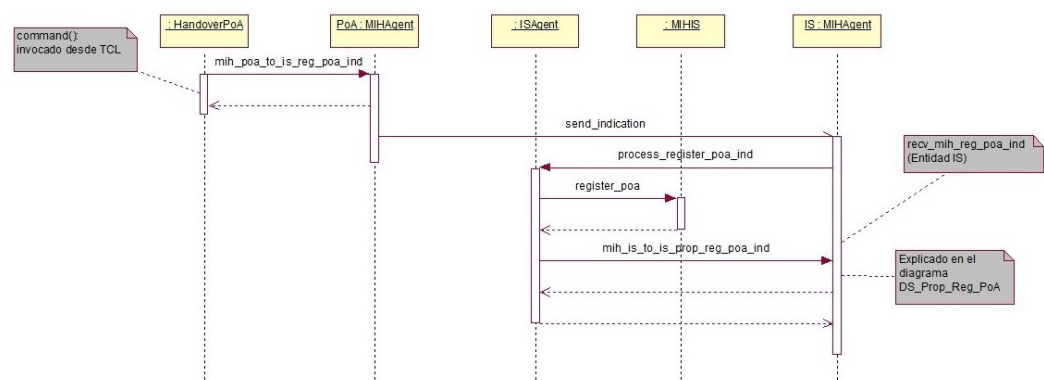


Figura E.3: Flujo MIH_Register_PoA

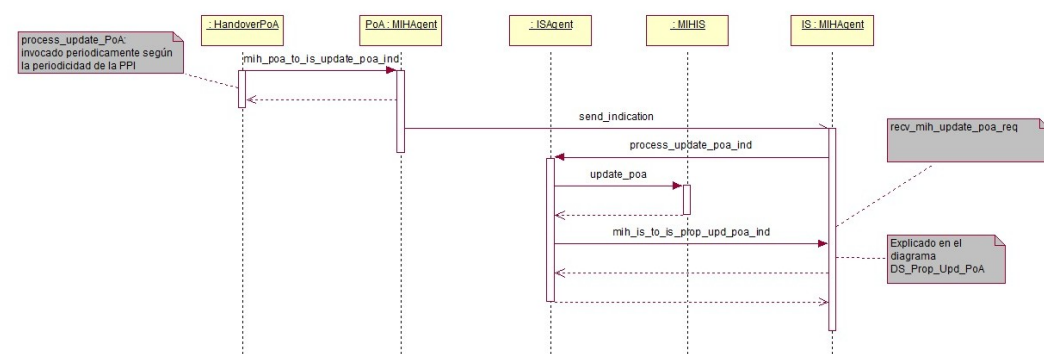


Figura E.4: Flujo MIH_Update_PoA

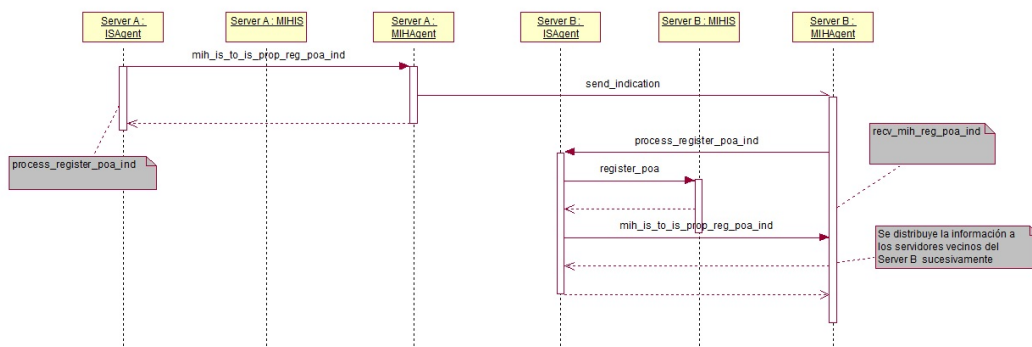


Figura E.5: Flujo MIH_Prop_Reg_PoA

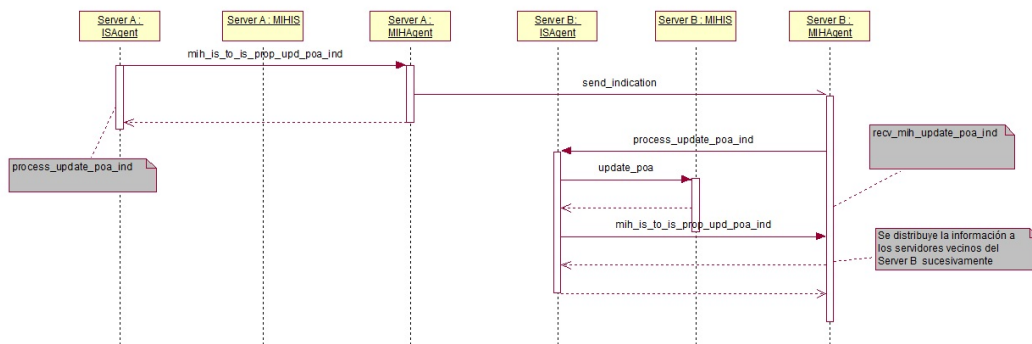


Figura E.6: Flujo MIH_Prop_Upd_PoA

E.2.6. MIH_Distribute_SISL

En este flujo de ejecución se comunican las entidades correspondientes al servidor MIIS origen que distribuye la SISL propia y el servidor MIIS destino que recibe la SISL. Esta comunicación entre entidades hace referencia al caso de uso “Distribución SISL” detallado en el punto E.4.2. También se corresponde con el mensaje “Distribución SISL” detallado previamente en el apéndice Paso de Mensajes en el punto C.6. El diagrama de flujo se muestra en la Fig. E.7.

E.3. Análisis de Riesgos

En este proyecto hemos utilizado el análisis de riesgos DAFO (SWOT). Este tipo de análisis clasifica los riesgos en positivos o negativos. Los riesgos positivos pueden ser de tipo interno (Fortalezas) o de tipo externo (Oportunidades). Por otro lado, los riesgos negativos pueden ser de tipo interno (Debilidades) o de tipo externo (Amenazas).

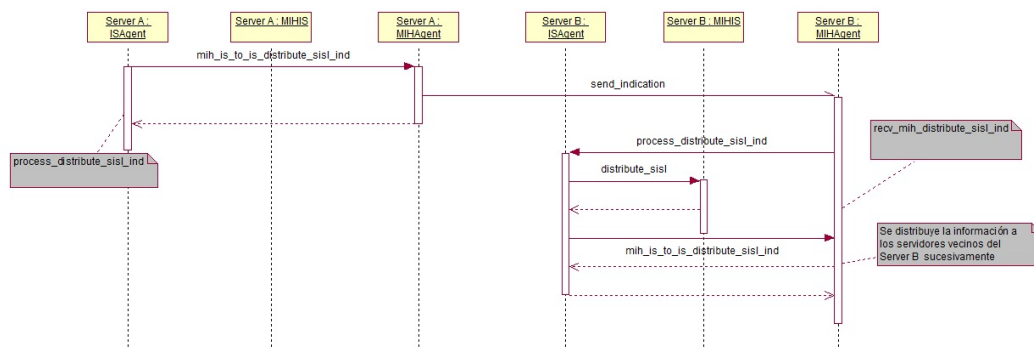


Figura E.7: Flujo MIH_Distribute_SISL

E.3.1. Riesgos positivos

Oportunidades

- Artículo de la revista Computers Networks.
 - La redacción de un artículo basado en el proyecto, le da un valor añadido a éste. Aún así, esta redacción exige unos requisitos de calidad muy altos, sobre todo en revistas punteras, como Computer Networks.
 - Para aprovechar esta oportunidad, buscaremos tener margen de tiempo sobrante en la etapa final del proyecto para escribir el artículo.
- Participación en congresos.
 - Congreso Radiocomunicación Elche (URSI 2012).
 - Congreso París de Tecnologías Móviles (NGMAST 2012).
 - Congreso de Telemática (JITEL 2012).
 - La participación en un congreso, al igual que la redacción de un artículo, refuerza la validez investigadora del proyecto. Aún así, los congresos son oportunidades más difíciles de aprovechar, debido a su fecha límite.
 - Ya que el objetivo es la conclusión del proyecto, no podemos dar prioridad a los congresos, pero aún así, intentamos tener margen de maniobra al final del proyecto, para el envío de artículos a los congresos.

Fortalezas

- Conocimiento de redes y gran interés por este tema.
- Alta capacidad de programación en diversas tecnologías.
- Ayuda del doctorando Fabio Buiati (grupo de investigación GASS), experimentado con el estándar 802.21 y el simulador NS-2.
- Ayuda de Antonio Izquierdo, investigador del NIST y desarrollador del framework del estándar 802.21 en el simulador NS-2.
- Ayuda de la doctorando Ana Lucila Sandoval (grupo de investigación GASS) en la migración de los documentos a LaTeX.

E.3.2. Riesgos negativos

Amenazas

- Posibilidad de que la idea quede obsoleta.
 - El estándar 802.21 es un tema que lleva varios años en investigación. Por ello, existe el riesgo de que la idea no sea innovadora.
 - El plan de prevención para esta amenaza, es un exhaustivo periodo de investigación, en los artículos más punteros de la materia, para estar seguros de que nuestra idea es novedosa.
 - Aún así, en caso de que se diera este riesgo, se volverá a la investigación para optar por otro tema más novedoso lo antes posible. En caso de darse en un nivel más avanzado del desarrollo, podríamos optar por continuar con la idea base, añadiendo algún enfoque innovador.
- Retraso del proyecto debido a la elevada complejidad del entorno de simulación NS-2.
 - Para intentar solventar este riesgo, intentamos aprovechar las fortalezas de nuestro proyecto, y un periodo de aprendizaje de NS-2 bastante alto.
 - Aún así, es una debilidad que debemos asumir, por lo que inflamos los tiempos, y buscamos un margen de maniobra mayor.
- Desmotivación.
 - Este riesgo nos parece poco probable, por lo que lo asumimos.

Debilidades

- Escasa documentación en el NS-2 y en el framework para el 802.21.
 - Se disponen de pocos tutoriales o herramientas de ayuda respecto al simulador NS-2. Aparte de eso, el framework del 802.21 es tremendamente complejo de entender y de modificar.
 - Por tanto, para resolver este riesgo contamos con la contribución del doctorando Fabio Buiati mencionado anteriormente, el cual posee conocimientos sobre este simulador.
- Limitación de tiempo dedicado al proyecto debido al resto de asignaturas.
 - El tiempo ha sido un gran riesgo para este proyecto puesto que los integrantes del grupo han tenido matriculadas otras asignaturas que por consiguiente, tenían que hacer frente para terminar la carrera.
 - En relación a esto, hemos optado por dedicar un trabajo constante tanto al proyecto como al resto de asignaturas, desde principio de curso. Aún así, y como riesgo localizado, hemos reservado aún más tiempo de margen de error.

E.4. Casos de Uso

Hemos definido cuatro casos de uso, correspondientes a cada uno de los hitos del proyecto. Estos se dividen en:

1. Registro y Actualización del PoA
2. Distribución SISL
3. Petición de Información
4. Handover Optimizado

E.4.1. Registro y Actualización PoA

- Descripción

Este caso de uso representa el registro y la actualización en el sistema de un PoA. También incluye los primeros mecanismos de distribución. Los actores en este caso de uso son el PoA, su servidor MIIS asociado y el resto de servidores MIIS. Este caso de uso incluye los siguientes mensajes:

- Registro del PoA (`mih_poa_to_is_reg_poa_ind`)
- Propagación del registro (`mih_is_to_is_prop_reg_poa_ind`)
- Actualización del PoA (`mih_poa_to_is_update_poa_ind`)
- Propagación de la actualización (`mih_is_to_is_prop_upd_poa_ind`)

- Flujo de ejecución

Se distinguen dos escenarios posibles.

- En el caso del registro:
El PoA inicia el registro enviando un mensaje de registro. Tras recibirlo, el servidor MIIS guarda la información. Tras hacer esto, el servidor MIIS comprueba qué vecinos están interesados en esta información. Luego, envía a todos los vecinos interesados la información para que la guarden, y distribuyan.
- En el caso de la actualización:
El PoA inicia la actualización enviando un mensaje de actualización. Tras recibirlo, el servidor MIIS comprueba los umbrales de los distintos campos de la actualización. Si no se superan los umbrales, no se hace nada. Si se superan, el servidor MIIS comprueba qué vecinos están interesados en esta información. Luego, envía a todos los vecinos interesados la información para que la guarden, y distribuyan.

E.4.2. Distribución SISL

- Descripción

Este caso representa tanto el rellenado de la SISL como su distribución. Los actores que toman parte de este caso de uso son el MN, el servidor MIIS actual, y el resto de los servidores MIIS. En caso de uso utiliza el mensaje de distribución de SISL (`mih_is_to_is_distribute_sisl_ind`).

- Flujo de ejecución

El MN envía una petición de información a su servidor MIIS actual. El servidor encuentra en la petición la SIT, asociada a un PoA, y la guarda en su SISL. Si la SISL no está llena, termina. Si está llena, copia la SISL a la SILL, eliminando los datos más antiguos de ésta, si fuera necesario. Luego envía la SISL a todos los servidores vecinos interesados, para que la guarden, y la sigan distribuyendo.

E.4.3. Petición de Información

- Descripción

Este caso de uso representa la redirección y funcionamiento de la petición de información. Los actores implicados son el MN, el servidor MIIS actual, y el resto de servidores. El caso de uso de distribución SISL está incluido en éste. Adicionalmente se hace uso de mensaje de petición de información (`mih_get_information_mn_req`) y de entrega de información (`mih_get_information_mn_rsp`).

- Flujo de ejecución

El MN envía la petición de información a su servidor MIIS actual. El servidor comprueba que el MN está en su área. Si está en el área, recopila la información, y la devuelve al MN. Si no, calcula cuál es el servidor MIIS más cercano al MN, y distribuye en él el mensaje de petición de información. De la última forma se hace uso del caso de uso “Distribución SISL”.

E.4.4. Handover Optimizado

- Descripción

Este caso de uso representa la optimización del handover. Los actores son el MN, el sistema de información, el PoA actual, y el PoA al que vamos a cambiar. En este caso de uso se incluye el caso de uso de Petición de información. Adicionalmente, se utilizan los mensajes del estándar de ejecución de handover, excepto el de búsqueda de PoAs candidatos. Este caso de uso incluye tanto la modalidad intra-tecnología como la modalidad inter-tecnología.

- Flujo de ejecución

El MN se mueve a lo largo del escenario enviando periódicamente mensajes de petición de información. Al encontrar la nueva red mejor que la actual, se inicia el proceso de handover.

En el caso de un evento Link Going Down, se ejecuta la petición de información de forma automática.

E.5. Planificación del Proyecto

A continuación se detallará la planificación del proyecto en lo referente a plazos y actividades. Dedicamos dos meses como margen de error para posibles imprevistos.

- Fase 1: Generación de la idea (Octubre - Noviembre).

- Investigación sobre el 802.21 (Octubre, Noviembre).
 - Familiarización con el estandar (Octubre).
 - Investigación de artículos relacionados (Principios de noviembre).
- Creación de la idea (Noviembre).

- Fase 2: Implementación (Noviembre - Febrero)

- Prototipo arquitectura en malla (Noviembre - Diciembre).

- Caso de uso: Registro y Actualización PoA (Noviembre).
 - Caso de uso: Distribución SISL (Diciembre).
 - Caso de uso: Petición de información (Diciembre).
 - Extensión a malla genérica de servidores (Enero).
- Integración prototipo en escenarios para obtención de resultados.
 - Caso de Uso: Handover Optimizado (intra-tecnología) (Enero).
 - Caso de Uso: Handover Optimizado (inter-tecnología) (Enero).
 - Escenario parametrizable y aleatorio (Febrero).
- Generación y validación de los modelos matemáticos (Febrero - Marzo).
- Documentación (Diciembre - Mayo).
- Fase 3: Redacción de la memoria (Marzo - Mayo).

Vemos que dentro de la planificación, tenemos márgenes de tiempo bastante amplios. Estos márgenes nos sirven para prevenir los diversos riesgos ya detallados previamente. El principal riesgo que nos preocupaba en este punto, era la complejidad del trabajo sobre el simulador NS-2.

La planificación previamente detallada se representa en la Fig.E.8 como un diagrama de Gantt.

E.6. Seguimiento y Control

A continuación se detallará el seguimiento y progreso del proyecto en lo referente a plazos y actividades.

- Fase 1: Generación de la idea (Octubre - Noviembre).
 - Investigación sobre el 802.21 (Octubre - Noviembre).
 - Familiarización con el estandar (Octubre).
 - Investigación de artículos relacionados (Principios de Noviembre).
- Fase 2: Implementacion (Noviembre - Abril).
 - Prototipo arquitectura en malla.
 - Caso de uso: Registro y Actualización PoA (Noviembre).
 - Caso de uso: Distribución SISL (Diciembre).
 - Caso de uso: Petición de información (Diciembre).
 - Extensión a malla genérica de servidores (Diciembre).
 - Integración prototipo en escenarios para obtención de resultados.
 - Caso de uso: Handover Optimizado (intra-tecnología) (Enero).
 - Caso de uso: Handover Optimizado (inter-tecnología) (Febrero-Abril).
 - Escenario parametrizable y aleatorio (Abril).
 - Generación y validación de modelos matemáticos (Febrero - Abril).
- Fase 3: Redacción Memoria (Marzo - Junio).

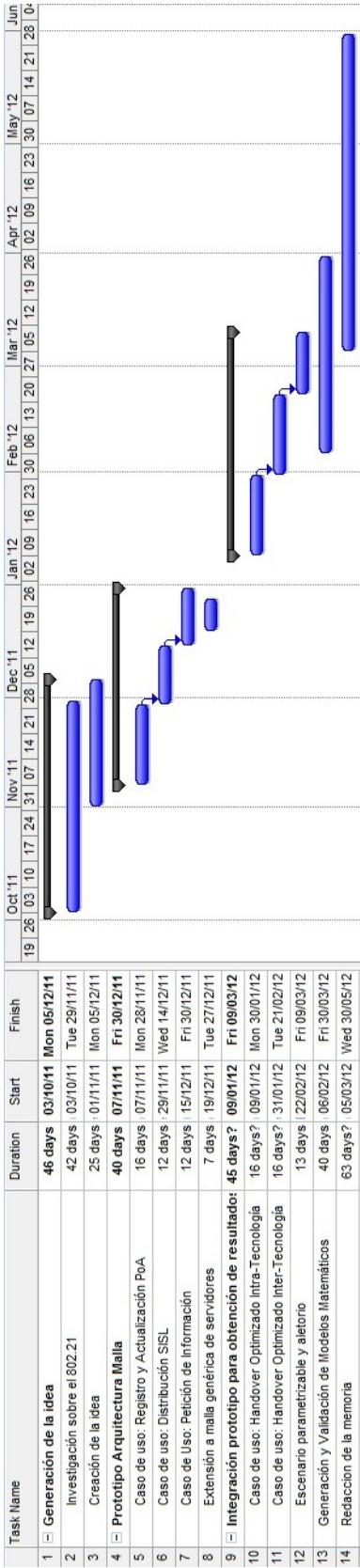


Figura E.8: Planificación del proyecto

- Redacción Computers Networks (Marzo - Mayo).
- Redacción URSI (Finales Abril).

Como habíamos previsto dentro de los riesgos, algunas actividades relacionadas con el simulador NS-2 se alargaron, incluso aprovechando las fortalezas de nuestro proyecto. Aun así, acabamos con tiempo suficiente, y pudimos aprovechar oportunidades como la redacción del artículo para el congreso de URSI, o la redacción del artículo para Computer Networks. Otras oportunidades, como el artículo para el congreso de NGMAST no pudieron ser abordadas por la falta de tiempo. Por otro lado, otras oportunidades, como el congreso de JITEL, no fue posible aprovecharlas, dado que se suspendieron.

El progreso anteriormente mencionado está representado como un diagrama de Gantt en la Fig.E.9.

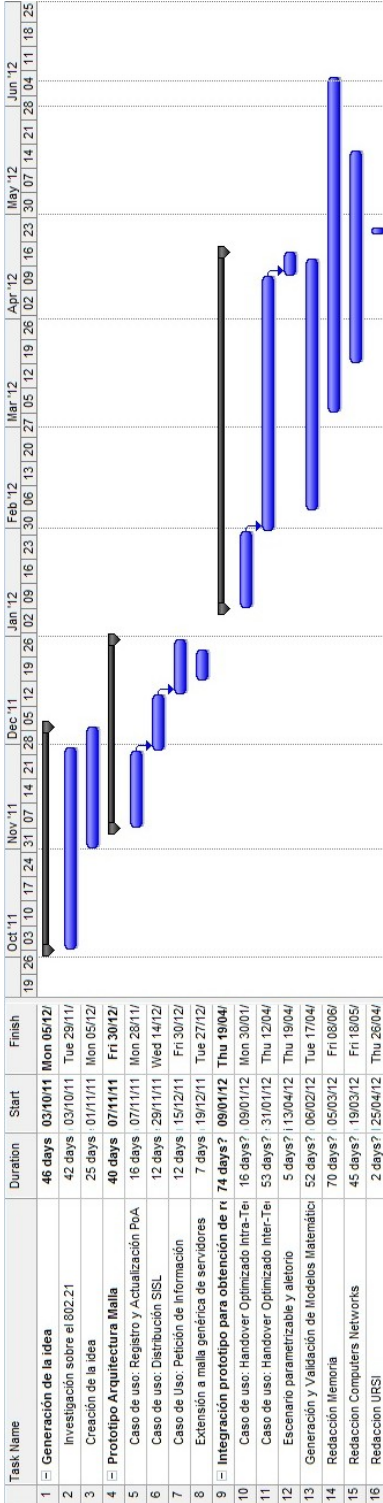


Figura E.9: Progreso del proyecto